الجغرافيا الطبيعية و الكوارث

أستاذ دكتور

جودة حسنين جودة

أستاذ الجغرافيا الطبيعية
وعميد كلية الآداب (سابقا)
جامعة الإسكندرية

الطبعة الأولى

دار المعرفة الجامعية
٤٠ ش سوتر الازاريطة
ت: ٤٨٣٠١٦٣

دراسات في:

جغرافية الكوارث الطبيعية

دكتور
جودة حسنين جودة
أستاذ الجغرافيا وعميد كلية الآداب سابقا
جامعة الإسكندرية

دار المعرفة الجامعية
٤٠ ش سوتير - إسكندرية
ت : ٤٨٣٠١٦٣

الإهداء

إلى مصـــرنا الحبيبـة الغـاليـــة

حفظها الله مـن كل مكروه

والله خيـــر حـــافظا

وهو أرحم الراحمين

مقدمة

لقد أخذ علم الجغرافيا يتّصل بعلوم عديدة أثناء تطوره ، وإذا كانت الجغرافيا تُعرف بأنها « العلم الذى يدرس البيئة والإنسان ، من حيث إنّ كلا منهما يؤثر فى الآخر ويتأثر به » . فإنّ على الباحث الجغرافى أن يستمدّ مادته الخام من علم أو من آخر ، تبعا لتخصصه ، ثم يقوم بتصنيع تلك المادة تصنيعا جغرافيا ، أى « جغرفتها » تأسيسا على أصول المنهج الجغرافى المتمثل فى : التوزيع والربط والتعليل .

وحتى بداية النصف الثانى من هذا القرن العشرين ، كانت فروع الجغرافيا الطبيعية ، وما تزال ، وستظل ، محدودة العدد بطبيعتها ، فالأبحاث فى الجغرافيا الطبيعية تقتصر على الچيومورفولوچيا ، والجغرافيا المناخية ، ثم ، وعلى استحياء ، الجغرافيا النباتية .

أما أفرع الجغرافيا البشرية ، فكانت محدودة العدد فيما كان يسمى الجغرافيا الجنسية ، والإجتماعية ، والتاريخية ، والاقتصادية ، والنقل والتجارة ، والإقليمية . ومن الأخيرة كانت تنبثق مقررات منفصلة لكتل قارية (جغرافية أوراسيا ، جغرافية الأمريكتين .. الخ) .

وخلال النصف الأخير من هذا القرن العشرين ، تعمقت الدّارسة فى محتوى فرعى الجغرافيا الطبيعية : الجيومورفولوجيا والمناخ . أما الجغرافيا البشرية ، فقد تفرعت شجرتها إلى أفرع عديدة ، وتزداد هذه الأفرع بازدياد مجالات نشاط الإنسان فى بيئته ، وما ينجم عن هذا النشاط الدائب المستمر من إيجابيات وسلبيات . ويمكنك الآن أن تُحْصِيَ نيِّفاً وعشرين فرعاً للجغرافيا البشرية ، تعالج حركة الإنسان وطموحاته وهمومه . ومن بين تلك الأفرع الحديثة ما يمكن تسميته « جغرافيا الكوارث الطبيعية والبشرية » .

وكتابنا هذا فى جغرافية الكوارث الطبيعية يقع فى **خمسة أبواب** ، وينقسم إلى **أربعة عشر فصلا** .

فى البــــاب الأول : دراسات فلكية **فى فصلين** ، عن الكون وأجرامه ، وعن كيفية نشأة تلك الأجرام ، ومنها أفراد الأسرة الشمسية ، وهى دراسات ضرورية كمدخل للمعرفة التفصيلية عن كوكب الأرض .

وفى الباب الثانى : عرض لخصائص الغلاف الجوى **فى فصلين** ، يُعالجان خصائصه ، ومناطق الحركة والاضطراب فيه ، وما ينشأ فيه وعنه من كوارث طبيعية ، تُصيب الإنسان وممتلكاته ..

وفى الباب الثالث : اهتمام خاص بدراسة **الغلاف المائى فى خمسة فصول**: توزيعه ، خصائص المياه ، كوارث التلوث المائى . حركات المياه : الأمواج ، المدّ والجزر ، التيارات البحرية . وما ينشأ عن كل منها من كوارث تصيب المعمور . قاع المحيط . وقوى ما تحت القاع وكوارثها

وفى الباب الرابع : دراسات فى باطن الأرض وأغلفته والغلاف الصخرى، ومناطق الحركة والاضطراب فيها ، مسببات الكوارث ، **فى ثلاثة فصول** : تركيب الأرض ، الزلازل وكوارثها ، البراكين وكوارثها .

وفى الباب الخامس : كوارث السيول ، وتحرك المواد على جوانب المنحدرات **فى فصلين** .

وفى الخاتمة : عرض عام ، واقتراحات ، وتوصيات .

ويهمنا فى هذا التقديم أن **نعرف الكارثة** . وتعريفها الدولى ، أنها «حدث ينشأ عنه خسائر كبيرة فى الأرواح والممتلكات ، وتلوث للبيئة » . والكارثة إما أن تكون طبيعية ، أو بشرية بفعل الإنسان . وتبعا لحجم الكارثة ، يتطلب الأمر تضافر جهود الدولة ، أو المساعدات الإقليمية أو الدولية .

ويمكن تقسيم الكوارث إلى قسمين كبيرين :

كوارث طبيعية ، وكوارث بشرية

وفيما يلى عرض موجز لكل منهما :

أولا : الكوارث الطبيعية :

١ - **چيولوچية وچيومورفولوچية ومناخية** : الزلازل ، البراكين ، تحرك المواد على جوانب المنحدرات ، الهبوط الأرضى ، تآكل ونحر السواحل، الانهيارات الجليدية ، السيول ، الفيضانات ، العواصف والزوابع والأعاصير الثلجية ، موجات الحرّ والبرد ، الصقيع ، التّصحر ، الجفاف والمجاعات ، حرائق الغابات .

٢ - **كونية** : تساقط الشهب والنيازك ، والإشعاع الكونى .

٣ - **بيولوجية** : أوبئة ، الجراد والآفات الزراعية ، الحشرات البيئية، تدمير الغطاء النباتى ، تعرية التربة .

ثانيا : كوارث بشرية :

وهى من صنع الإنسان ، إما بغير إرادته ، أو بإرادته وتخطيطه .

(أ) **غير إرادية** : تلوث الهواء والتربة ، التلوث الضوئى والبصرى ، التلوث الجمالى والأخلاقى ، الحرائق ، التلوث الإشعاعى ، إنهيار المنشآت ، حوادث المرور ، حوادث الصناعة ، إنهيار المناجم والمحاجر ، تمليح المياه الجوفيه، التلوث البترولى .

(ب) **إرادية ومخططة** : الحروب ، الإرهاب ، النهب والسلب ، جرائم التخريب ، تلويث الهواء والمياه والتربة ، أسلحة الدمار الشامل ، إشعال النيران فى آبار البترول .

وسيجد القارئ دراسات متعمقة ودسمة عن كل من الكوارث الطبيعية المهمة ، والمتكررة : عن أصلها ونشأتها ونتائجها ، وإمكانيات مجابهتها ، والحدّ من خطورتها . فعى الرغم من صعوبة توقع كوارث الزلازل والسيول والفيضانات والعواصف وغيرها ، فإنه لا ينبغى أن ننظر إلى هذه الأحداث نظرة المستسلم ، ونقول « ما باليد حيلة » ذلك أن الارتقاء المستمر فى الوسائل التكنولوجية ، والتقدم العلمى المستمر فى دراسة تلك الكوارث ، ومحاولات التنبؤ بها ، وطرق وأساليب مواجهتها ، ومجابهة آثارها ، لاشك يقلل من سلبياتها .

وفى ختام دراستنا لكل من تلك الأحداث ، سنورد بعضا من أساليب التعامل معها . أما الخاتمة فستتضمن عرضا وافيا لما يمكن اتخاذه من تدابير من قبل مختلف الهيئات والمؤسسات ، كل فى مجال إمكانياته ، للحدّ من سلبيات تلك الكوارث والمُلمّات .

وإننى إذ أقدم هذا العمل العلمى لزملائى وتلاميذى فى مصر وفى مختلف بلدان الوطن العربى ، لأرجو لهم به النفع ، والله ولى التوفيق .

أ.د . جودة حسنين جودة

٢٠ أغسطس ١٩٩٨

الباب الأول

الكون وأجرامه ونشأة المجموعة الشمسية

الفصل الأول : الكون وأجرامه : السدم - المجرات - النجوم - الكواكب - الأقمار - المذنبات - الشهب .

الفصل الثانى : نشأة الأرض كفرد من أفراد الأسرة الشمسية .

الفصل الأول
الكون وأجرامه

الكون هو ذلك الفضاء الضخم الفسيح، الذى يزخر بأعداد لا حصر لها من الأجرام المتفاوتة فى أحجامها، وفى المواد التى تتألف منها، والمختلفة فى كثافاتها وفى أبعادها . وما مثل المجموعة الشمسية فى هذا الكون المجهول الأبعاد إلا كمثل قطرة ماء فى المحيط العالمى الأرضى، أو حبّة رمل دقيقة من رمل بحار رمال صحارى كوكب الأرض.

وتعدُّ مشكلة نشأة الكون ونشأة المجموعة الشمسية من المشاكل المهمة التى شغلت أذهان العلماء والمفكرين من زمن بعيد .

وقبل أن نعرض لعدد من النظريات التى تعرضت لتفسير نشأة كل من الكون والمجموعة الشمسية، يحسنُ بنا أن نعرض لخصائص الكون وما يحويه من أجرام، ونذكر بعضاً من أوصاف تلك الأجرام، تبعا لما أمكن جمعه من معلومات، أمكن التوصل إليها بطرائق العلوم الحديثة فى النصف الثانى من هذا القرن العشرين، الذى يُعتبر بحق «عصر الفضاء» . **ذلك العصر الذى بدأه الروس بإطلاق أول صاروخ إلى الفضاء، استطاع أن يخرج من مجال جاذبية الأرض، ليتخذ له مدارا حول الشمس، وبالتالى أصبح أول تابع صناعى للمجموعة الشمسية، وكان ذلك فى اليوم الثانى من يناير عام ١٩٥٩ .**

الكون

هو الفضاء الذى يزخر بأعداد لا حصر لها من أجرام يمكن تصنيفها وترتيبها تبعا لنشأتها ومراحل تطورها إلى ما يلى :

١ـ السدم ٢ـ المجرات ٣ـ النجوم ٤ـ الكواكب وتوابعها.

ومنذ أواخر الخمسينيات تسابق الروس والأمريكان فى إعداد برامج فضاء وإرسال سفن فضائية إلى الكواكب المختلفة، ثم إلى خارج المجموعة

الشمسية .

ومن أهم المسائل التى ترمى إليها برامج الفضاء ما يلى :

١ـ كيفية نشأة الكون، وإمكانية التعرف على بداياته وتطوره .

٢ـ كيفية نشأة النظام الشمسى وتطوره ونموه .

٣ـ كيفية بدء الحياة على الأرض، وإمكانية وجود حياة من أى نوع على الكواكب الأخرى عدا الأرض.

٤ـ التعرف على المراحل الغامضة من تاريخ الأرض، لكى يسهل حلّ المشكلات التى تختص بمختلف بيئاتها .

٥ـ استخدام الفضاء فى الحروب التى قد تنشأ بين «الدول الكبرى»، فالكوارث التى يسببها الإنسان لبنى جنسه لا تقل بل تفوق أحيانا فى التدمير والتخريب ما تسببه كوارث الطبيعة.

والمعلومات التى استقاها العلماء عن الكون لا تتعدى قسما منه، وهى ماتزال قاصرة، وهو القسم الذى تمكنوا من رؤيته بفضل أدوات الرصد الفلكية، واستخدام الرادار، والتليسكوب الراديوى، ومنوعات من الإشعاعات غير المرئية، والصواريخ والأقمار الصناعية والسفن الفضائية. وقد أمكن تجميع الكثير من المعلومات الحديثة التى غيرّت كثيرا من المعتقدات والمفاهيم القديمة عن الكون ـ وعن محتواه من الأجرام، وعن المجموعة الشمسية وخصائصه..

والقسم الذى أمكن التعرف على بعض أسراره ضخم، وهو من الاتساع بحيث يستغرق الضوء الذى تبلغ سرعته نحو ٣٠٠ ألف كيلو متر فى الثانية، نحو ثمانية مليارات من السنين الضوئية [١] لبلوغ هوامشه، وقد تمكن الفلكيون فى الآونة الأخيرة من الوصول إلى أبعاد فى الكون يستغرق الضوء لقطعها ما يزيد على ١٢ مليار سنة ضوئية. ويبدو أن

---

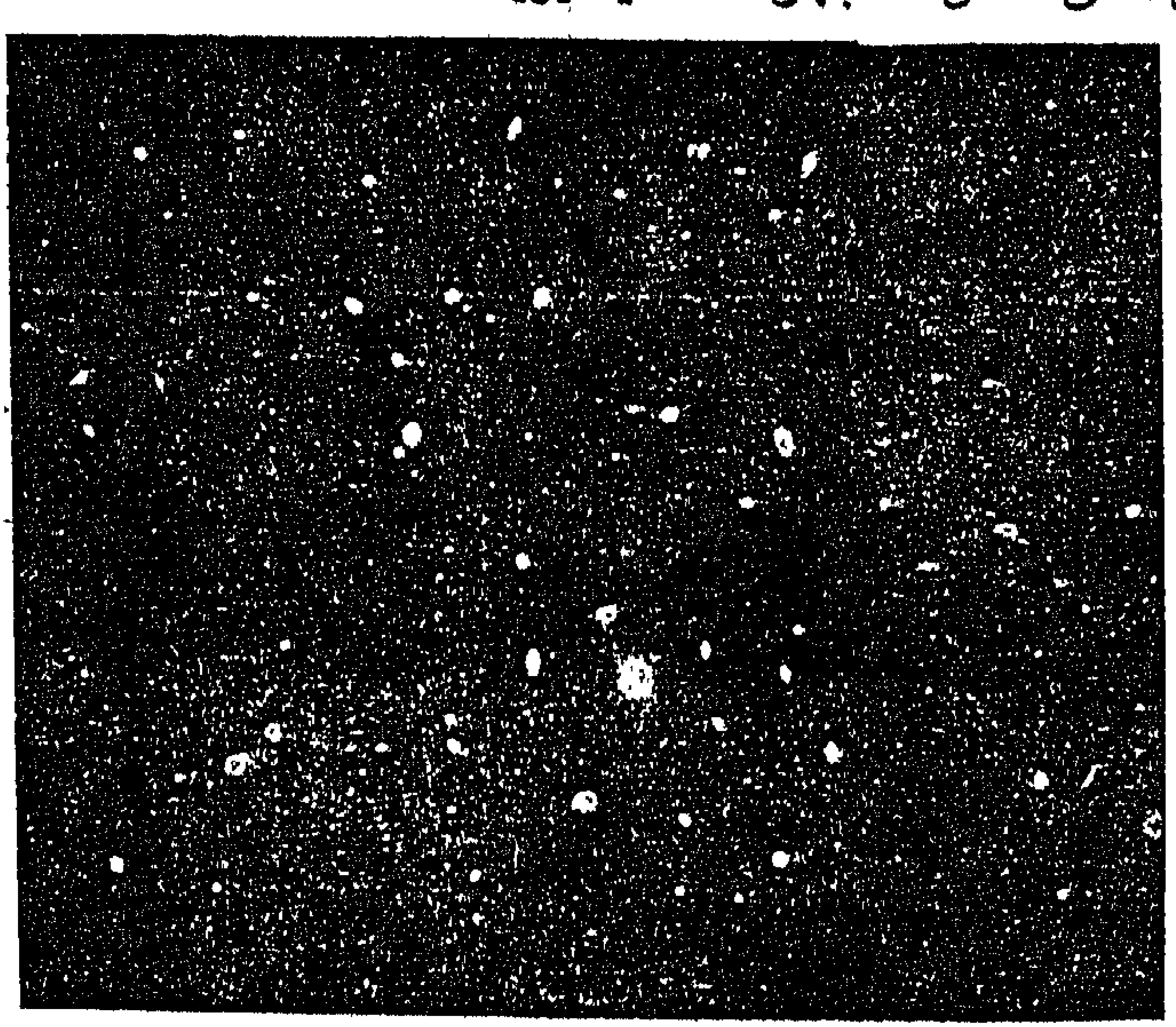
(١) السنة الضوئية Light Year يمكن حسابها كالآتى : سرعة الضوء فى الثانية × ٦٠ ثانية × ٦٠ دقيقة × ٢٤ ساعة × ٣٦٥$\frac{1}{4}$ يوم تساوى = ٩,٤٦٧,٢٨٠,٠٠٠,٠٠٠ كيلو مترا، وبالتقريب ٩٤٦٧ مليار كيلو متر. مثال ذلك يصل ضوء الشمس إلى الأرض فى نحو ٨,٥ دقيقة، بعد أن يقطع مسافة مقدارها نحو (١٥٠) مليون كيلو مترا.

الكون ليست له حدود، وأنه مايزال ينمو ويتّسع... «والسماء بنيناها بأيد وإنا لموسعون ـ الأية ٤٧ من سورة الذاريات».

وفى هذا القسم الصغير من الكون الكبير أمكن التعرف على طبيعة السدم، والمجرات، والنجوم، والكواكب وتوابعها.

السدم

أما السدم Nubulae فتتالف من سحب ضخمة تشغل حيزا عظيما من الفضاء، وتتكون من غازات خفيفة مضيئة، بعضها لامع مضيئ مثل سديم كراب (الكابوريا أو السرطان البحرى) Crab، ومنها ما هو متوهج Luminous، ومنها ما هو خافت باهت. وتتوزع السدم، وتنتشر فى الكون، ويفصل بين السديم والآخر مسافات تُقدّر بملايين السنوات الضوئية. ومن أشهر السدم **سديم من** مجموعة سدم ذات الشعورCome Berinices، يُعرف بالسديم الحلزونى أو اللولبى الذى يُعدُّ أبعد جرم سماوى فى الجزء من الكون الذى أمكن للأجهزة الفلكية رؤيته.



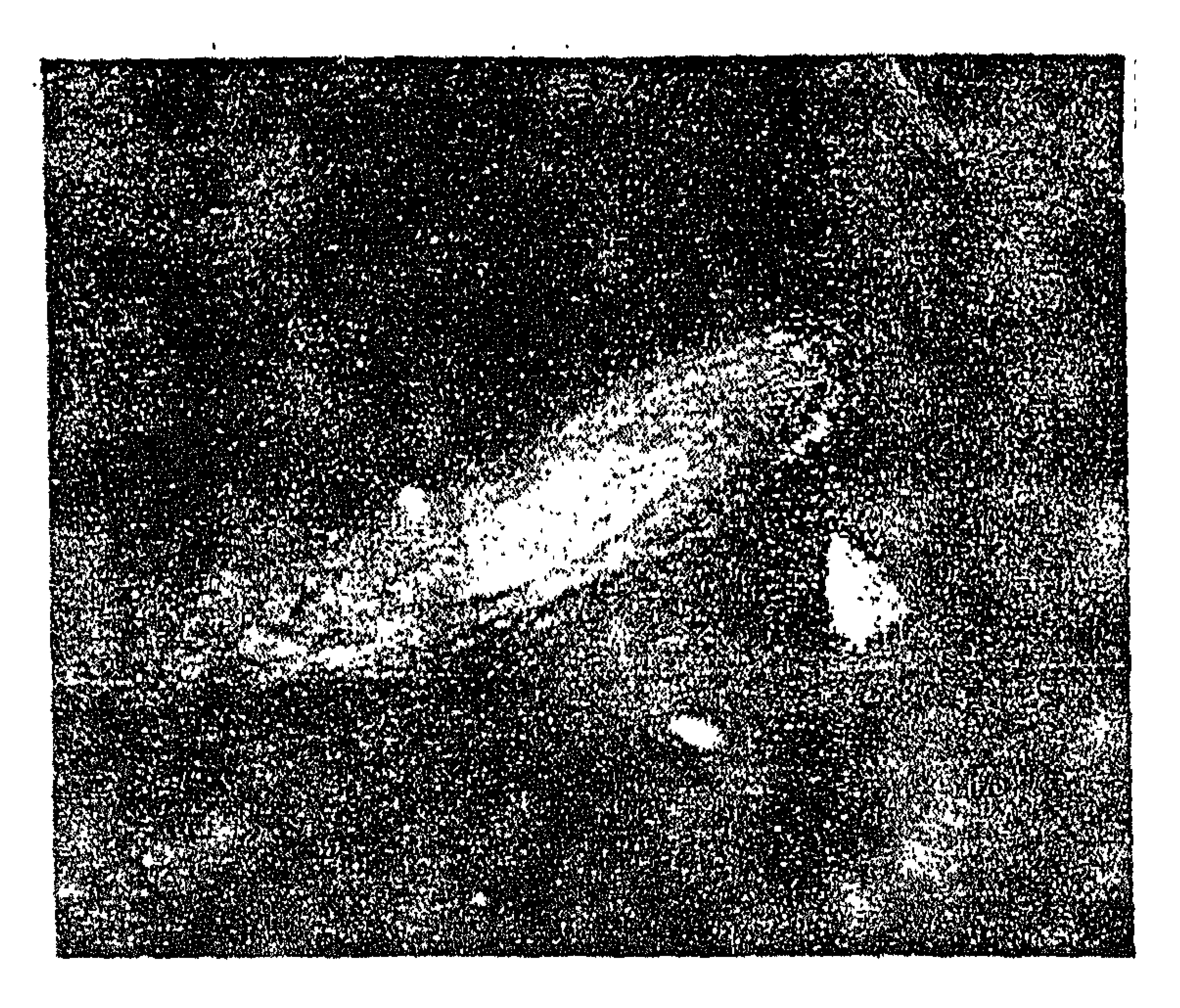
شكل (١) جمع من السدم فى «ذات الشعور» Coma Berinices. والصورة لجزء صغير جداً فى السماء، صوّرهُ منظار قطرُ مرآته ١٠٠ بوصة. وغالب الأجرام التى تُرى فيها سدم على مسافات يستغرق الضوء فى قطعها ٥٠ مليون سنة، يصل بعدها إلينا. ويتكون كل سديم من بعض الاف الملايين من النجوم، أو من المادة التى تتكون منها النجوم.

ويبلغ أطول قطر لهذا السديم الحلزونى ما يزيد على ثلاثين ألف سنة ضوئية، وهو أحد سدم المرأة المسلسلة. ويرى بعض الفلكيين أن هذا السديم يقع قرب مركز الكون، لكن هذا القول مردود عليه بأن المركز لا يمكن التكهن بموضعه ما دام الكون لم تعرف حدوده، هذا إن كانت له حدود. ويبعد السديم الحلزونى عن الأرض بنحو ٩٥٠ ألف سنة ضوئية، بينما تبلغ المسافة بين الأرض وسديم الكابوريا (يشبه الكابوريا فى شكله) حوالى أربعة آلاف سنة ضوئية.

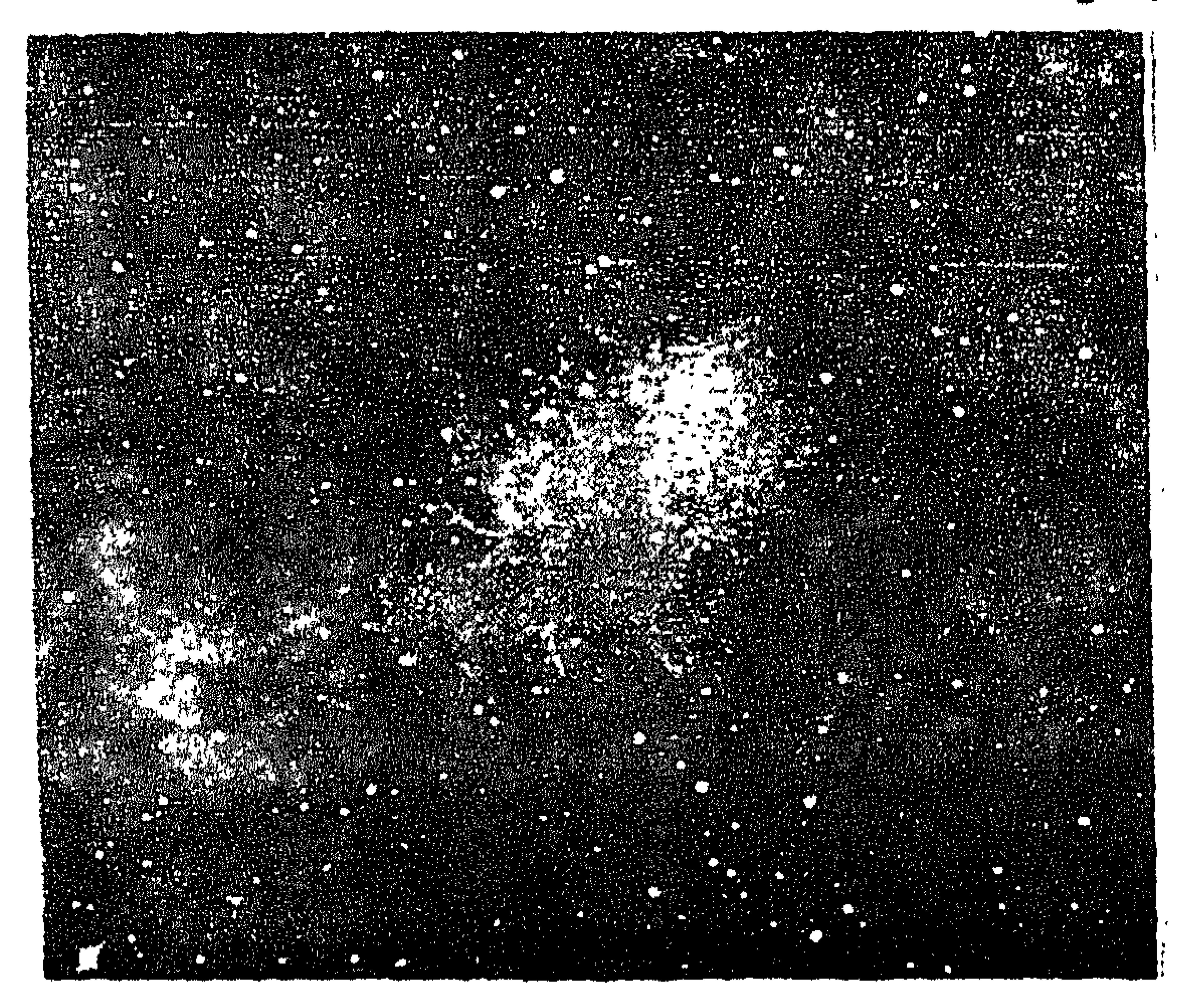
المجـــرات

تمرُّ السُّدم خلال سلسلة من التغيرات المتتابعة كلما زادت سرعة دورانها حول نفسها، فيحدث لكل سديم تفلطح أو انبساط عند قطبيه وانبعاج أو انتفاخ عند دائرة استوائه، وبتأثير دورانه السريع حول محوره ونتيجة لانكماشه، وجاذبية السدم الأخرى له، نجد أن النطاق الإستوائى منه ينخلع مكونا لذراعين طويلين، يمتدان فى اتجاهين متعاكسين كما يحدث فى السدم الحلزونية Spiral Nebulae التى سبق وصفها، وفى داخل هذه الأذرع تتجمع المواد التى انتشرت من جسم السديم فى شكل عقد ضخمة Knots، تعادل فى أحجامها أعظم النجوم حجما. وتتكرر هذه العمليات بمرور الزمن مكونة مجموعات نجمية، تتفاوت نجومها فى العدد وفى الأحجام. وكل مجموعة نجمية Stellar System تُسمّى مجرّة، وبهذه الطريقة يتحول السديم فى النهاية إلى مليارات من المجاميع النجمية أو المجرات.

والمجرة Galaxy التى تنتمى إليها الأسرة الشمسية تعرف بالطريق اللبنى The Milky Way أو طريق التبّانة، كما سماها العرب، يبلغ طول محورها مائة ألف سنة ضوئية. وهى واحدة من أربع عشرة مجرة تضمها مجموعة واحدة، وهناك تجمعات من المجرات يبلغ العدد فى كل تجمع ما يزيد على ٥٠٠ مجرة، لكن مجرتنا تُعدُّ من أكبر المجرات فى القسم المعروف من الكون، وهى تضم عددا من النجوم يزيد على مائتى مليون



شكل (٢) سديم حلزونى أو لولبى، لاحظ شدة توهج قسمه الأوسط، وانفصال أجزاء من أطرافه، وانتشارها فى الفضاء



شكل (٣) سديم الكابوريا، لاحظ الأجرام التى تناثرت منه فى الفضاء، واختلاف ترمج هوامشه بالإشعاع والتبريد بالنسبة لوسطه العظيم المتوهج.

نجم، وشمسنا من أصغر نجومها، وهى مع أسرتها تقع على أحد أطراف الطريق اللبنى، الذى يبدو بهيئة قرص متضخّم أو منتفخ فى الوسط، ويعنى هذا التضخم كثرة النجوم التى نشأت بسبب وفرة المواد السديمة المكونة لها، وينخلع من القرص أعداد من الأذرع الحلزونية التى تزخر بآلاف النجوم والغازات والغبار الكونى. وفى الليالى الصافية، تظهر مجرّة الطريق اللبنى للعين المجردة، مثل شريط طويل عريض من الضوء الأبيض اللون، لكنها تبدو بوضوح بواسطة المناظير الفلكية المقربة مثل قرص مسطح متضخم تبعا لما سبق وصفه.

النجوم

النجوم Stars هى تلك النقاط المنيرة التى نراها فى السماء بالعين المجردة، وهى تمثل الجيل الثالث من الأجرام السماوية (السدم فالمجرات ثم النجُوم). ويتألف كل نجم فى بداية مولده من أخف الغازات، وهو الأيدروجين. وتدور النجوم حول نفسها، فيتكاثف محتواها من الأيدروجين، ويتحول إلى غاز أثقل منه هو الهليوم وذلك بسبب سرعة الدوران التى يترتب عليها انكماشه وارتفاع حرارته، وفى أثناء زمن التحوّل، تشع النجوم الضوء والحرارة، تلك الطاقة الهائلة التى تتبدد فى فضاء الكون. وشمسنا ما هى إلا نجم صغير يمرّ بمرحلة التعادل بين كميات الطاقة التى يشعها السطح أو الهالة الخارجية، وكميات الطاقة التى تتولد فى الداخل

وبمرور آلاف من ملايين السنين أثناءها يزداد فقدان الطاقة بالإشعاع فيأخذ باطنه فى الانكماش وسطحه فى التمدد فتنخفض حرارته، وتتحول طاقته الحرارية إلى طاقة تسمى «طاقة وضع» فيتحول لونه من الأبيض إلى اللون الأحمر، ويُسمى حينئذ بالنجم الأحمر. وتتوالى مراحل التحول بفقدان الحرارة والاندماج الداخلى، وصغر الحجم، وتغير اللون إلى الأبيض مرة أخرى، وحينئذ يُسمى «النجم القزم الأبيض». وفى المراحل الأخيرة من عمره، يستهلك كل وقوده النووى،

فينكمش كثيرا، وترتفع كثافة مواده، ويتحول إلى بؤرة جذب شديدة، حتى إن ما قد ينبعث من ضوء يعود ويجذبه إليه فيما يسمى بعملية استرجاع Feeding Back، ويطلق عليه حينئذ «الثقب الأسود» أو «النجم القزم الأسود» الذى كثيرا ما ينفجر، وتتبعثر مكوناته فى الفضاء. وفى عام ١٩٨٧ تمكن علماء الفلك من التحقق من انفجار نجم حدث منذ نحو ١٧٠ سنة ضوئية.

الأسرة الشمسية

الشمس نجم، فهى من الجيل الثالث، أما أفراد أسرتها من الكواكب Planets وتوابعها فهى تمثل الجيل الرابع، وهو الجيل الذى يهُم الجغرافيا، ويحفلُ به الجغرافيون، ويتوفرون على دراسة فرد من تلك الأسرة هى الأرض التى يعيش عليها البشر، ويمارسون على أديمها مختلف أنشطتهم. أما الأجيال الثلاثة الأولى، فيهتم بدراستها علم الفلك، ونحن، كجغرافيين، نأخذ من نتائج أبحاثهم ما يفيدنا فى تفهم العلاقة بين كوكب الأرض وأخواتها بالنجم الأم المتمثل فى الشمس، وكذلك فى التعرف على الصلات بين المجموعة الشمسية وبين أجرام الأجيال الثلاثة المذكورة، لما لتلك الصلات من أهمية قصوى فى التأثير على مُجْرَيات الأمور فى الأرض بحسبانها أهم عضو فى الأسرة الشمسية، لأنها العضو الوحيد الذى اصطفاه الله سبحانه بنعمة الحياة والأحياء. ولا شك أن أى خلل فى التوازن الذى تتميز به تلك الأجرام التى لا حصر لها والتى يزخر بها الكون الفسيح، يؤثر على الحياة والأحياء على الأرض، بل إنه قد يؤدى إلى دمارها وفنائها.

وتتكون المجموعة الشمسية من نجم عظيم يشغل مركزها وهو الشمس، ومن عشرة كواكب سيارة أحدها كوكب الأرض، وتدور جميعها حول الشمس فى مدارات بيضاوية الشكل فى اتجاه واحد من الغرب إلى

الشرق، وفى مستوى واحد هو مستوى الخسوف والكسوف.

وهذه الكواكب مرتبة بحسب قربها من الشمس هى :

١ـ عطارد	Mercury	٦ـ المشترى	Jupiter
٢ـ الزهرة	Venus	٧ـ زحل	Saturn
٣ـ الأرض	Earth	٨ـ أورانوس	Uranus
٤ـ المريخ	Mars	٩ـ نبتون	Neptune
٥ـ الكويكبات	Asteroids / Planetoids	١٠ـ بلوتو	Pluto

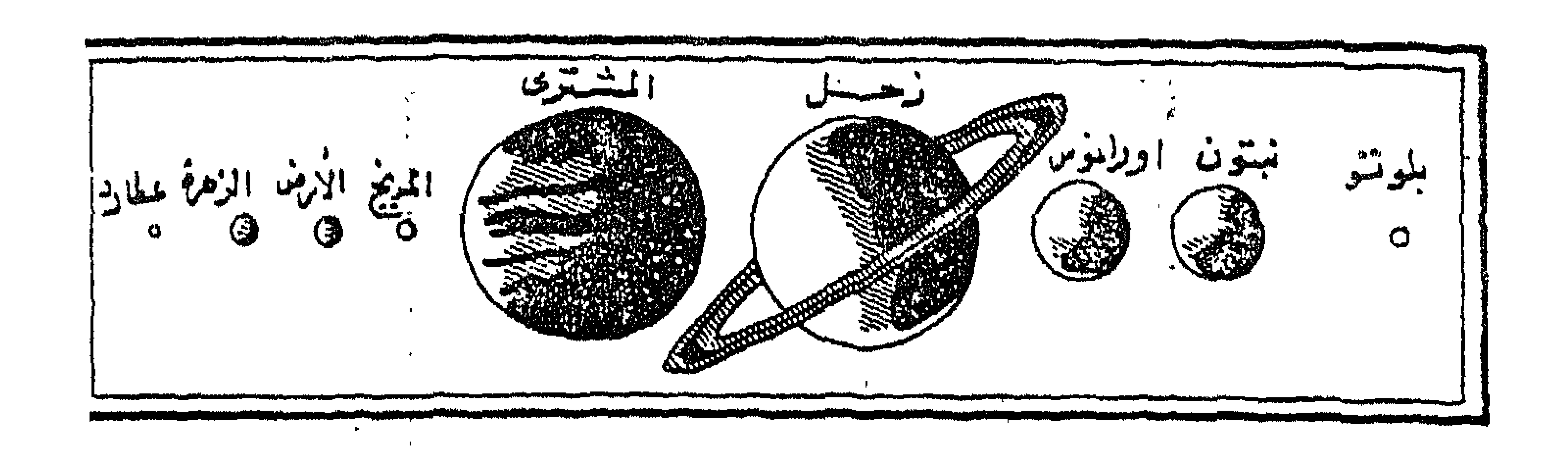
وتختلف الكواكب فيما بينها من حيث الحجم والكثافة والبعد عن الشمس. فمن حيث الحجم نجد من الكواكب ماهو صغير وما هو كبير. والمشترى هو اكبرها حجما ويقع فى مركز متوسط بينها. أما بقية الكواكب فان احجامها تتدرج فى الصّغر كلما بعدت عنه فى كلا جانبيه. واذا اتخذنا قطر الأرض ومقداره ١٢٦٨٣ كم واعتبرناه وحدة قياس (١)، فاننا سنجد أن أقطار الكواكب الأخرى كالآتى :

عطارد	٠,٣٨	وحدة	المشترى	١١,٠٠	وحدة
الزهرة	٠,٩٧	وحدة	زحل	٩,٥	وحدة
الأرض	١,٠٠	وحدة	أورانوس	٤,٠٠	وحدة
المريخ	٠,٥٠	وحدة	نبتون	٣,٨٩	وحدة

بلوتو مجهول (من نصف وحدة إلى وحدة).

أنظر الى الشكل رقم (٤) ورتب الكواكب حسب أحجامها من الكبير إلى الصغير.

(١) الوحدة الفلكية Astronomical Unit، هى متوسط المسافة بين الأرض والشمس، وطولها ١٤٩ مليون كيلو متر، وتستخدم لقياس المسافات بين أفراد المجموعة الشمسية، أما السنة الضوئية Light Year فتستخدم لحساب المسافات بين أجرام المجرة والسدم.



شكل (٤) كواكب المجموعة الشمسية

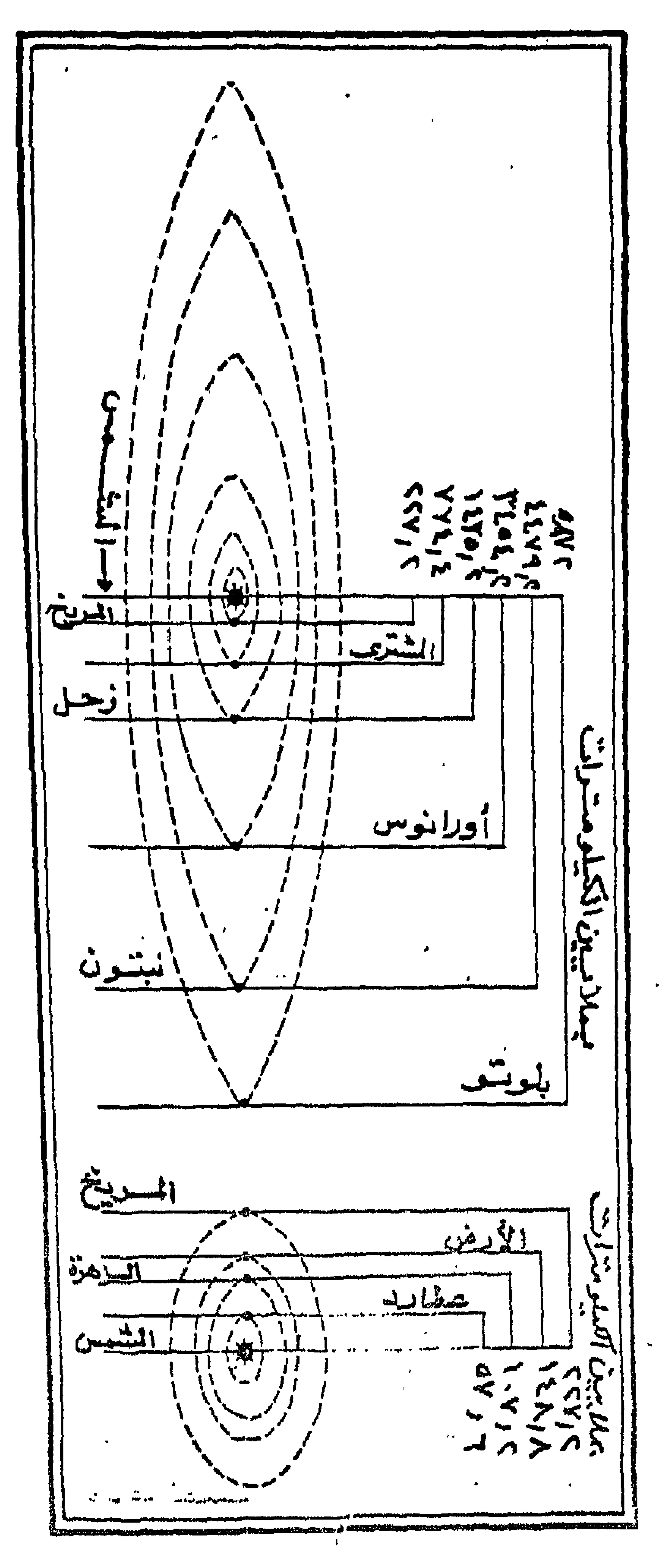
ويعتقد الفلكيون أن كثافة الكواكب الصغيرة الحجم أكبر من كثافة الكواكب الكبيرة الحجم. واذا ما اتخذنا الكثافة العامة للمياه كوحدة قياس مقارنة سنجد أن متوسط كثافات الكواكب كما يلى :

عطارد	٣,٧٣	المشترى	١,٣٤	بلوتو	مجهول
الزهرة	٥,٢١	زحل	٠,٦٩		
الأرض	٥,٥٢	أورانوس	١,٣٦		
المريخ	٣,٩٤	نبتون	١,٣٢		

واذا اتخذنا المسافة التى تقع بين الأرض والشمس ومقدارها ١٤٩,٥٠٠,٠٠٠ كم وأعتبرناها وحدة قياس للمسافة فاننا سنجد أن الكواكب تبتعد عن الشمس بالوحدات الآتية :

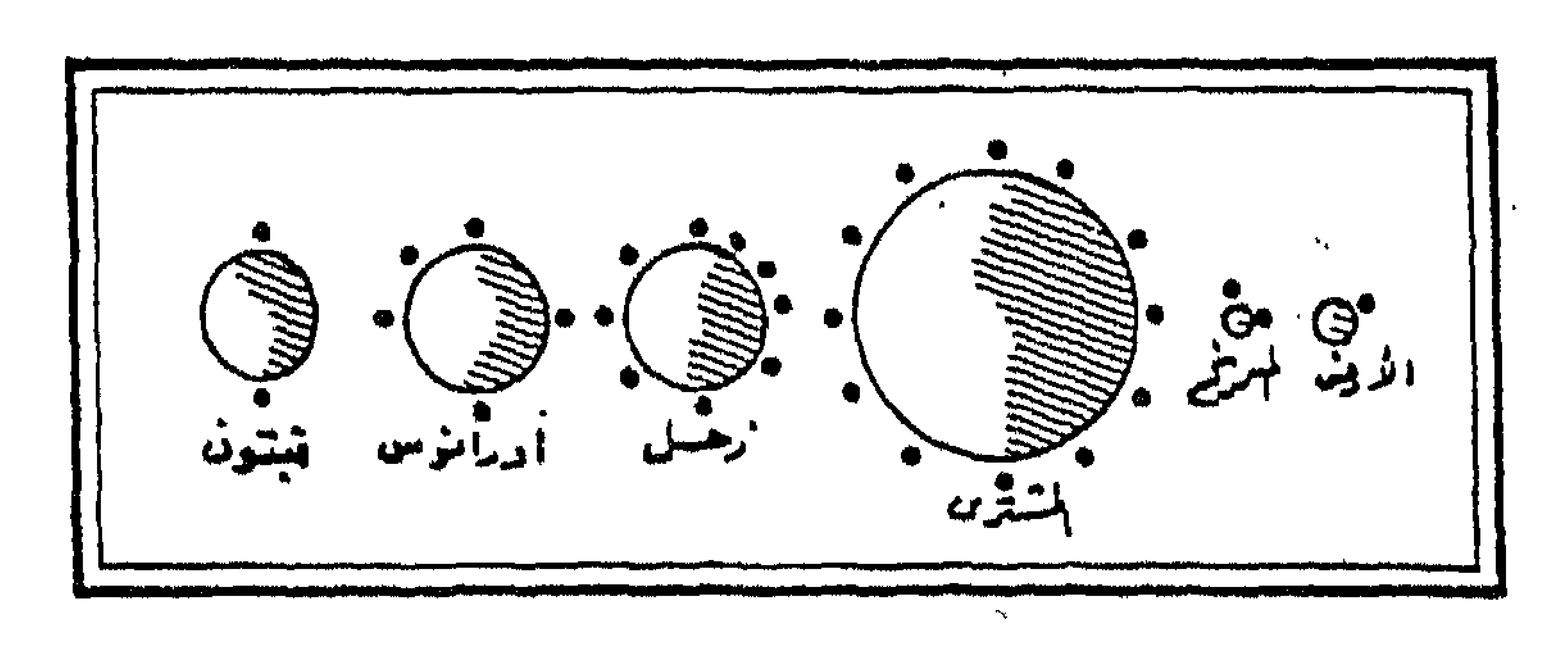
عطارد	٠,٣٩	وحدة	المشترى	٥,٢٠	وحدة
الزهرة	٠,٧٢	وحدة	زحل	٩,٥٤	وحدة
الأرض	١,٠٠	وحدة	أورانوس	١٩,١٩	وحدة
المريخ	١,٥٢	وحدة	نبتون	٣٠,٠٧	وحدة
			بلوتو	٣٩,٤٦	

ويمكنك أن تتعرف على الأبعاد الحقيقية بالأرقام من الشكل رقم (٥)



شكل (٥) أبعاد الكواكب عن الشمس

ويفصل مجموعة الكواكب القريبة من الشمس عن مجموعة الكواكب البعيدة عنها نطاق من الكويكبات يبلغ عدد الكبير منها أكثر من ١٥٠٠ كويكب. وتتكون الكويكبات من مجمعات من الأجسام الصغيرة الشبيهة بالكواكب تدور هى الأخرى حول الشمس فى مدارات بيضاوية فيما بين مدارى المريخ والمشترى. وتقدر كتلتها الكلية بنحو ٠,٠٠٠٠٣ من كتلة الأرض التى تبلغ ٥٠٠٠ مليون مليون مليون طن. ويظن أنها تكونت نتيجة لانفجارات حدثت فى كوكب كبير، أو أن ذلك الكوكب الكبير قد أصطدم بغيره فتفتت، أو أنها أجرام صغيرة فشلت فى التجمع والالتحام لتكوين كوكب كبير.



شكل (٦) الأقمار التابعة لبعض الكواكب

وهناك ستة كواكب لها توابع أو أقمار وهى : الأرض والمريخ والمشترى وزحل وأورانوس ونبتون (شكل ٦). ويدور معظم هذه الأقمار حول الكواكب فى نفس اتجاه دوران الكواكب حول الشمس. ويتبع المشترى أكبر عدد من الاقمار اذ يبلغ عددها ١٢ ، منها ثمانية تدور حوله فى نفس اتجاه دوران الكوكب نفسه أى من الغرب إلى الشرق، بينما الأربعة الأخرى تدور فى اتجاه معاكس. ويتبع المريخ قمران، وزحل تسعة أقمار كما تحيط به هالة. أما أورانوس فيتبعه خمسة أقمار ونبتون قمران والارض قمر واحد. أما الكواكب الأخرى فليس لأى منها قمر يتبعها.

وعلى هذا تشمل المجموعة الشمسية على عشرة كواكب وواحد

وثلاثين قمرا دون حساب الهالة الغازية حول زحل. وفى ٢ يناير من عام ١٩٥٩ أطلق الاتحاد السوفيتى (الاتحاد الروسى حاليا) أول صاروخ للفضاء، استطاع ان يخرج من مجال جاذبية الأرض ليتخذ له مدارا حول الشمس وبالتالى أصبح أول تابع صناعى للمجموعة الشمسية.

وبالاضافة إلى الشمس والكواكب العشرة والاقمار التابعة لها تحتوى المجموعة الشمسية على عدد هائل من أجرام سماوية صغيرة الحجم تعرف بالمذنبات والشهب والنيازك وفيما يلى وصف لكل منها.

١ ـ الشمس

هى كرة هائلة الحجم تتكون من غازات ملتهبة، ويبلغ قطرها نحو ١,٣٨٠,٠٠٠ كم وهو يعادل قطر الكرة الأرضية بنحو مائة مرة، وحجمها قدر حجم الأرض مليون مرة. وتقدر درجة حرارة سطح الشمس بنحو ٧٠٠٠ درجة مئوية. وتندلع منها السنة نارية تشاهد وقت الكسوف الكلى للشمس، ويندفع لهيبها فى الفضاء بسرعة تقدر بنحو ٤٠٠كم فى الثانية.

ومن هذه الكتلة الملتهبة تشع الحرارة باستمرار فتصل الى الأرض. ولكن مقدار ما يستطيع الوصول إلى الأرض من الاشعاع الشمسى لا يزيد على ١ : ٢ مليار منه، أما الباقى فتمتصه الغازات فى طبقات الجو العليا. ورغم ضآلة هذا القدر فإنه كاف لأن تقوم الحياة على وجه الأرض.

والشمس بالنسبة لسكان الأرض أبهى وأهم نجم فى الكون. وهى تهيمن على كل أفراد أسرتها. فكل الكواكب تتحرك فى مداراتها تحت تأثير جاذبيتها، ومن أشعتها تنبعث الطاقة التى هى مصدر كل حركة وحياة على سطح الأرض.

٢ ـ الكواكب

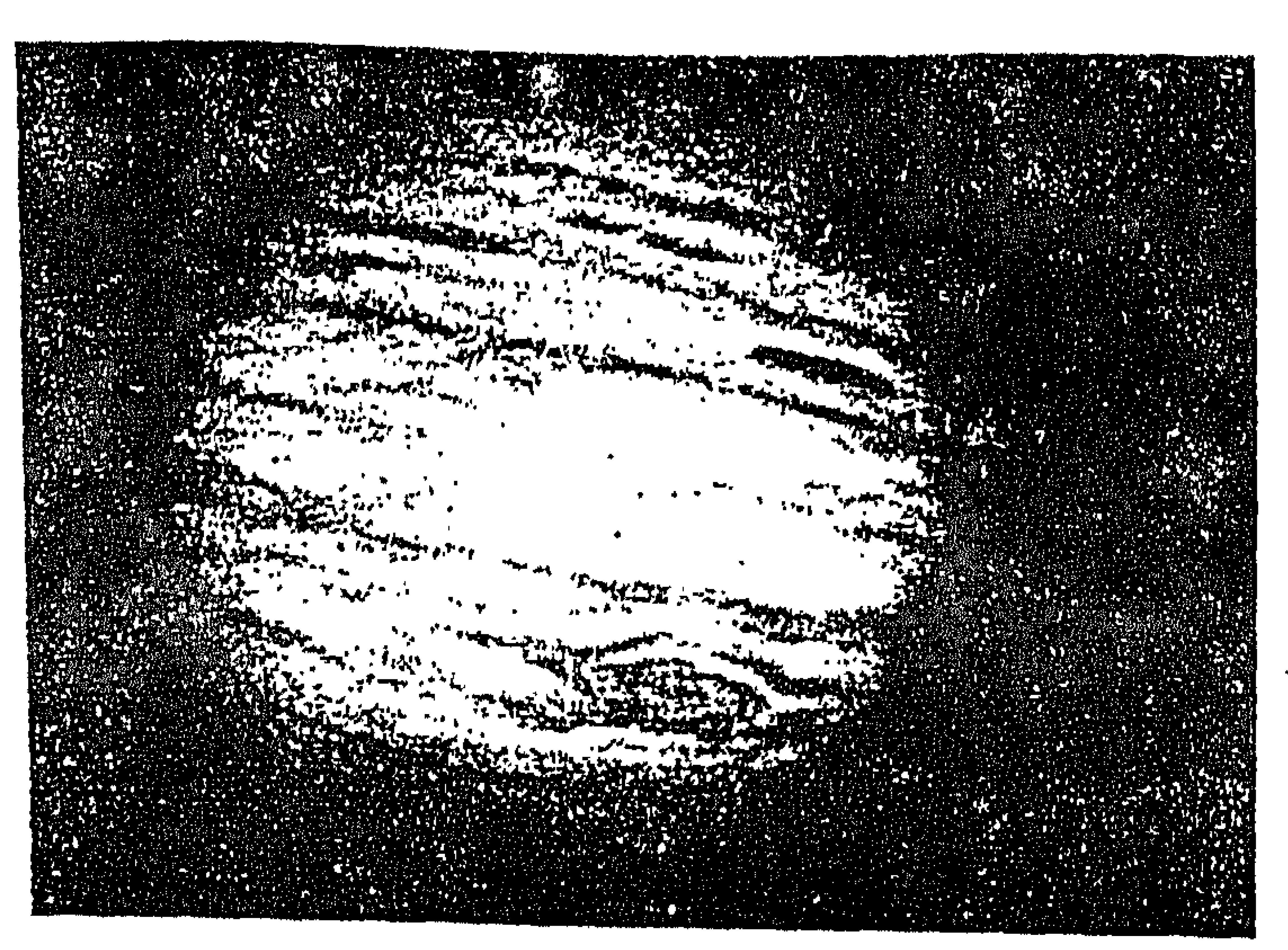
أجرام سماوية صخرية معتمة لا تضىء بنفسها، وانما تستمد نورها من الشمس وهى كما رأينا تختلف فى أحجامها وكثافتها وكتلتها وبعدها عن الشمس.

(أ) عطارد :

كوكب عطارد هو أقرب الكواكب الى الشمس ويتحرك بسرعة كبيرة فى مداره. وهو أصغر الكواكب حجما، ويدور حول الشمس فى ٨٨ يوما. وهو يواجه الشمس بجانب واحد، كما يفعل القمر بالنسبة للأرض. وجانبه المواجه للشمس يتعرض للأشعاع الشمسى الشديد، بينما يبقى الجانب الآخر فى ظلام دائم، ولا يحيط بعطارد غلاف جوى، ومن ثم تستحيل الحياة عليه.

(ب) الزهرة :

يقارب حجم كوكب الزهرة حجم الارض ولكنه دونها فى الكثافة وفى الكتلة (٤/٥ كتلة الأرض) وهو يدور حول نفسه ببطء كما يتم دورته حول الشمس فى ٤٤٠ يوما، وقد تمكنت سفينة الفضاء مارينر ٢ من الاقتراب منه فى ديسمبر من عام ١٩٦٢. فأرسلت الى الأرض معلومات تفيد بأنه جاف شديد الحرارة فى أجزائه المنخفضة (نحو ٣١٥ °م)، وقارس البرودة فى أجزائه المرتفعة المظاهرة للشمس، ويبدو أن الحياة تنعدم فيه.



شكل (٧) : كوكب المشترى : لاحظ البقعة الحمراء الضخمة فى نصفه الجنوبى.

(جـ) المريخ :

ويشبه المريخ كوكب الأرض فى أنه يحتوى على يابس وماء، وفى كليهما تبخر الحرارة المياه، ويشكل التكاثف سحبا تسوقها الرياح. ويحيط به غلاف غازى قد يلائم نمو نبات وحيوان، وإن كان يحتوى على نسبة مرتفعة من ثانى أكسيد الكربون. ولكن المريخ يختلف عن الأرض فى أنه أصغر منها حجما وكتلة، ومن ثم فقوة جاذبيته صغيرة (٠,٣٨ من جاذبية الأرض). لهذا فغلافه الجوى ضئيل ومياهه ليست وفيرة. وعلى الرغم من أن هناك أوجه شبه بين المريخ والارض فى تعاقب فصول السنة الاربعة، الا أن مداها على المريخ ضعف مداها على الأرض تقريبا، فسنة المريخ ٦٨٦,٥ يوما تقريبا، بينما سنة الأرض ٣٦٥,٢٥ يوما. ويرجع ذلك الى أن مدار المريخ حول الشمس أطول وأكثر بيضاوية من مدار الأرض.

وقد هبطت على المريخ سفينة فضاء أمريكية فى يوليو ١٩٩٧، وأرسلت الكثير من الصور لظواهر جوّه وسطحه، ويعكف العلماء على دراستها فى محاولات لإثبات وجود صورة من صور الحياة العضوية على الكوكب الأكثر شبها من غيره بكوكب الأرض.

(د) المشترى :

هو أكبر الكواكب، وحجمه قدر حجم الأرض ١٣٠٠ مرة وكثافته ربع كثافة الارض تقريبا، وكتلته قدر كتلة الأرض ٣٠٠ مرة وضعف كتلة الكواكب مجتمعة. ومن ثم تجوز تسميته ـ بحق ـ بالكوكب العملاق. وهو سريع الدوران حول محوره، فيتم دورة كاملة حول نفسه فى ٩ ساعات و٥٥ دقيقة، لكنه بطيء الدوران حول الشمس اذ يتم دورته حوْلَها فى ١١,٩ سنة أرضية. وأهم ما يميزه وجود نطاقات داكنة وأخرى فاتحة تمتد موازية تقريبا لدائرته الاستوائية. ويبدو أنها تمثل انخفاضات فى الغلاف الجوى الكثيف الذى يحيط بالمشترى. وكثيرا ما تشاهد عليه أشكال بيضية تشبه السحب.

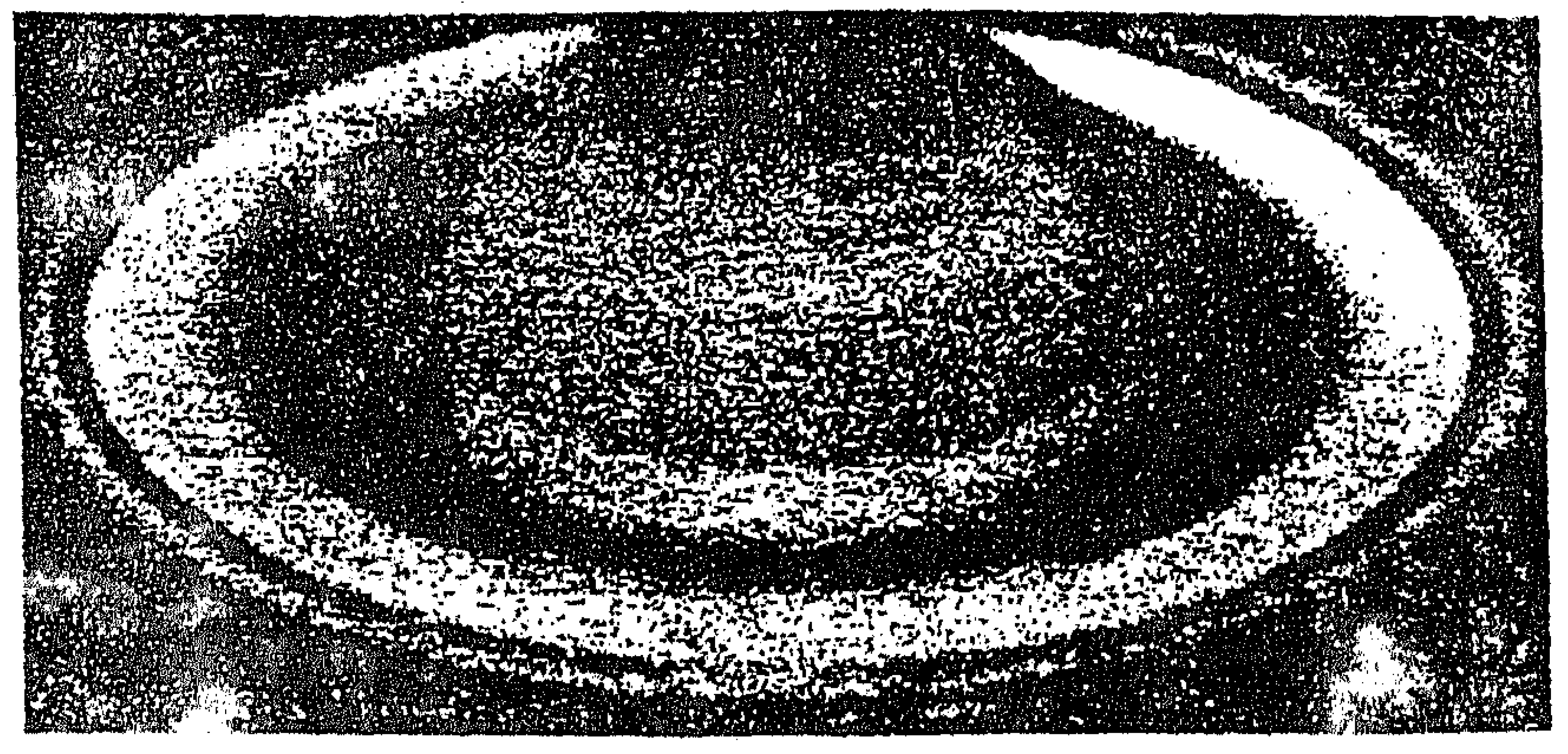
ولكن أهم الظواهر التى أمكن رؤيتها بوضوح تلك البقع الحمراء

التى شوهدت لأول مرة فى عام ١٨٧٧ واشتدت حمرتها فى العام التالى. ويعتقد أنها - كالنطاقات الداكنة والفاتحة - انخفاضات جوية تتكون بلون أرض الكوكب من أسفلها أو بلون الأبخرة الحمراء العالقة بطبقات غلافه الجوى السفلى.

وكثيرا ما نشاهد بقعا بيضية الشكل بيضاء اللون على سطح المشترى تتحرك بسرعة متفاوتة يظن انها سحب سيارة. ووجود هذه السحب والأبخرة دليل على أن كوكب المشترى مازال حارا حتى على سطحه. فالاشعاع الشمسى الذى يتلقاه المشترى ضئيل (٥٪من الاشعاع على الأرض) لا يكفى لتكوين السحب واحداث التغيرات السريعة التى تعانيها (شكل ٧).

(هـ) زحـــل :

يدور زحل حول نفسه فى ١٠ ساعات و ١٤ دقيقة، بينما دورته حول الشمس فى ٢٩,٥ سنة أرضية تقريبا. وحجمه قدر حجم الأرض ٧٤٠ مرة لكن كتلته تبلغ ٩٥ مثلا من كتلة الأرض نظرا لأن كثافته متخفضة. وهو يشبه المشترى فى تلك النطاقات الداكنة والفاتحة على سطحه، لكنها أقل من نطاقات الكوكب العملاق وضوحا وتغيرا. ويحيط به غلاف جوى يتكون من غازات الايدروجين والهليوم والميثان. ويمتص غلافه الجوى جزء من الاشعاع الشمسى. ويحيط بالكوكب هالة تتألف من ثلاث حلقات تحتوى على أجسام صغيرة متناثرة، وتدور الهالة من حوله. وهو يشبه فى طبيعته وتكوينه كوكب المشترى لكن يبدو أنه أكثر منه برودة.



شكل (٨) : زحل والهالة من حوله

وتتكون هالة زحل من أربعة أقراص رقيقة يبلغ اتساعها الكلى نحو ٦٠,٠٠٠ كيلو متر. والحلقتان الخارجيتان مضيئتان، بينما الحلقة الداخلية ضعيفة اللمعان، وهامشها الداخلى لا يبعد عن قرص زحل بأكثر من ١٦,٠٠٠ كم. ويفصل بين الحلقتين الخارجيتين مسافة تقدر بنحو ٢٦٠٠كم. ويبلغ سمك الحلقات نحو ١٦٠ كم، وهى تتألف من أجسام منفصلة لا تحصى عددا، وهى فى واقع الأمر توابع صغيرة تشبه اسراب النيازك، من الممكن أن تتصادم ببعضها منشئة لجو مغبر ملتهب يحيط بها (شكل ٨).

(و) أورانوس :

يبلغ حجم أورانوس ٦٤ مثلا لحجم الأرض. ويدور حول محوره فى فترة تقدر بين ١٠ ـ ١٢ ساعة، لكنه يتم دورته حول الشمس فى نحو ٨٤ سنة أرضية. وهو يبدو من خلال المنظار الفلكى كقرص لونه أشبه بخضرة مياه البحر، ويبدو فى خضرته نطاقات داكنة نوعا، ويقال انه محاط بغلاف جوى يتألف من غازات الميثان والنشادر والهليوم. وله خمسة أقمار تدور فى اتجاه معاكس لدوران الكواكب حول الشمس أى من الشرق إلى الغرب.

(ز) نبتـــــون :

كوكب نبتون هو أبعد الكواكب عن الشمس باستثناء بلوتو، وهو لا يتلقى من الاشعاع الشمسى سوى ٠,٠٩٪ مما تتلقاه الأرض منه. وتبلغ كثافته ربع كثافة الأرض. وكتلته قدر كتلة الارض ١٧ مرة، وهو مثل أورانوس محاط بغلاف من غاز الميثان والنشادر والهليوم ويتبعه قمران.

(س) بلـــــوتو :

كوكب صغير وبعيد لدرجة أنه يصعب قياسه بدقة، ولذلك فلا يعرف عنه شىء سوى أنه يدور حول الشمس فى ٢٤٧ سنة أرضية، ويدور حول نفسه فى ٦,٤ يوما، ويبدو أنه لا يزيد حجما عن المريخ، وله فلك شاذ يدخله فى مدار نبتون بل يجعله أقرب الى الشمس من نبتون حينما يكون



شكل (٩) : مورهاوس. لاحظ راسه الشديدة التوهج، وذيله المضيء الممتد في الفضاء

عند نقطة الرأس من مداره حول الشمس. ولهذا وغيره يظنه بعض الفلكيين مجرد تابع هارب من الكوكب نبتون.

٣ـ المذنبات Comets :

وهى جزء من المجموعة الشمسية. وتشاهد من الارض فى هيئة بقع مضيئة تمثل رؤوسها، ومنها تمتد السنة أو ذيول منيرة فى الفضاء. وتتركب المذنبات من غازات أهمها أول أكسيد الكربون ومن حبيبات دقيقة

من التراب الكونى الذى يعكس أشعة الشمس. وتُشاهَد عقدة متصلبة معينة عند رأس المذنب، ويبدو أن هذه الرؤوس تتكون من مجمعات صخرية وحصوية تتباعد عن بعضها بمسافات صغيرة. وكتلة المذنب صغيرة جدا، ولا تزيد عن كتلة كويكب صغير، وهى تقدر بنحو واحد فى المليار من كتلة الارض.

وتدور المذنبات ـ الكواكب حول الشمس ـ فى مدارات بيضاوية، ويتحرك بعضها فى مدارات بيضاوية مستطيلة جدا لهذا فانها تستغرق من الزمن مئات السنين وأحيانا آلافا من السنين لتكمل دورتها حول الشمس، ومن أشهرها مجموعة «إنك» ومجموعة «مورهاوس» ومجموعة «هالى».

٤ـ الشهب والنيازك :

عبارة عن حطام أجسام كونية متحللة تماثل فى تركيبها الكواكب من صنف الأرض، ولا تختلف الشهب عن النيازك الا فى الحجم. فالشهب فى حجم الحصى، أما النيازك فيصل قطرها بضعة أمتار. وهى تسبح فى الفضاء زرافات ووحدانا. وحين تقترب من مجال جاذبية الارض تندفع اليها وتقتحم الغلاف الجوى بسرعة هائلة ويتولد عن احتكاكها بجو الأرض حرارة شديدة تؤدى الى اشتعالها واحتراق معظمها وتلاشيه فى الجو، بينما يصل بعض موادها الى الأرض ومن دراسة هذه المواد تبين أن كل المعادن التى تدخل فى تكوينها معروف فى الأرض. فهى إما تتركب من معادن ثقيلة كالحديد والنيكل، أو من معادن خفيفة كالتى تدخل فى تركيب الصخور الارضية.

٤ـ القمر – تابع الأرض :

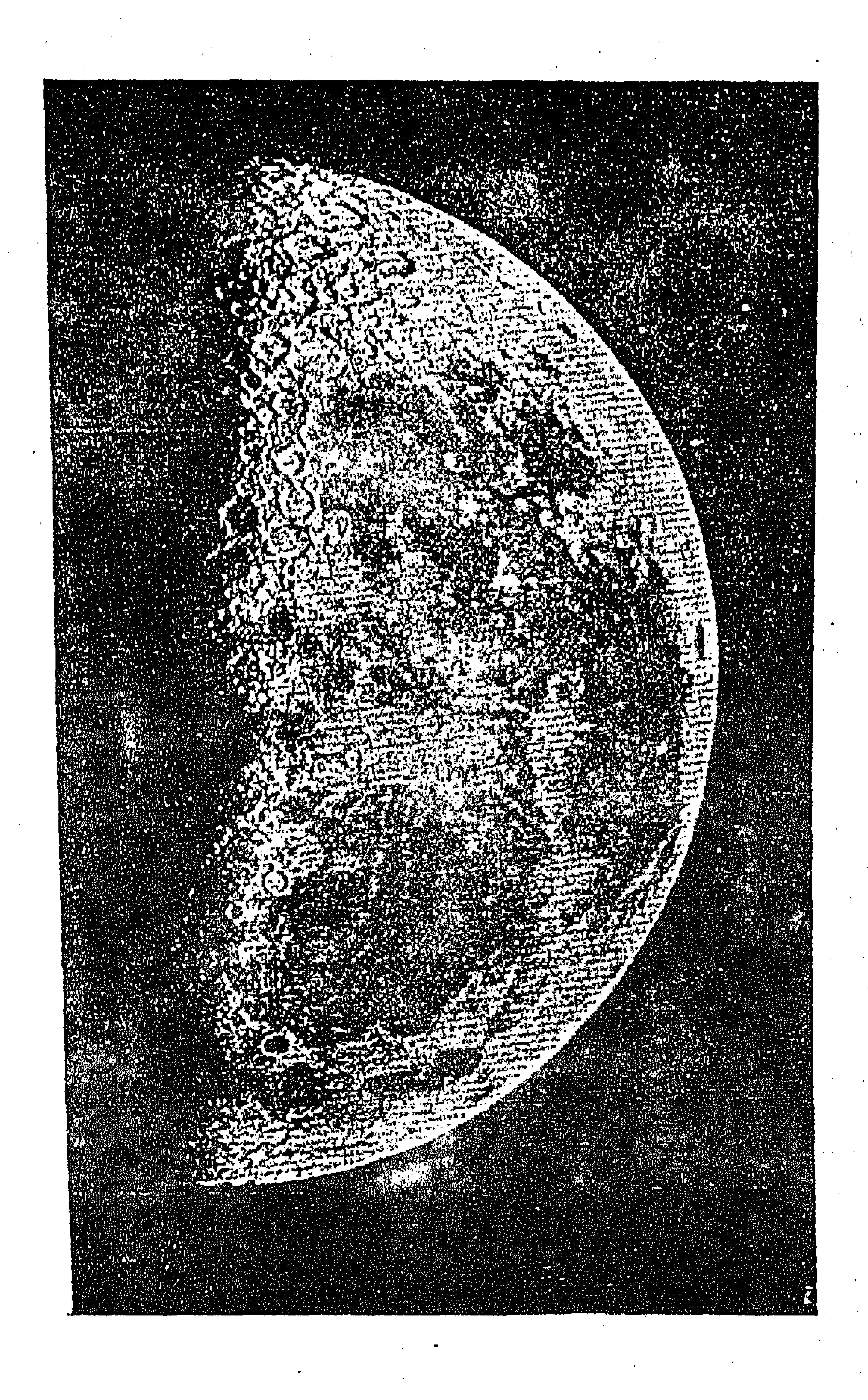
تمكن الإنسان من الوصول إلى القمر فى ٢٠ يولية من عام ١٩٦٩، وبذلك أمكن التعرف بطريق مباشر على خصائصه. فهو قاحل، لا نبت فيه ولا ضرع، ولا يحيط به غلاف جوى، ولذلك يتأثر بكامل الإشعاع

الشمسى، بما فيه الأشعة المميتة فوق البنفسجية وأشعة إكس وأشعة جاما. وينعدم وجود الماء اللازم للحياه. ودرجة حرارة الظهيرة عند دائرة استوائه أعلى من درجة حرارة غليان الماء، وحرارة ليله تهبط إلى ما دون الصفر المئوى بكثير. ويوجد القمر فى فراغ تام، ومن ثم فإن إمكانيات الحياة على سطحه معدومة تماما.

ويُرصَّع سطح القمر أنماط التضاريس التى نجدها على سطح الأرض، ففيه أحواض فسيحة تملأها مواد بركانية داكنة يحسبها المشاهد مياها، ويسميها بحارا، بينما تبدو المناطق المشرقة على سطحه جبلية المظهر، وهى تغطى نحو ٦٠٪ من الجانب الذى نراه من القمر. وتمتد عليه سلاسل جبلية طويلة تحمل أسماء كالألب والأبناين، تفصل بينها المنخفضات، وهى ترتفع إلى أكثر من ستة آلاف متر.

وتكثر الفوهات المختلفة الأحجام على وجه القمر، بعضها نشأ عن نشاط بركانى قديم، وبعضها الآخر نتيجة اصطدام نوايات مُذنبات أو أجرام كونيه أخرى كالنيازك بسطح القمر. ويُقدّر الفلكيون قطر الجسم الذى فجَّر فوهة «تشيو» بنحو ٤كم. وتكثر على سطح القمر مخروطات بركانية تكثر فى منطقة تلال «ماريوس» وهى تشبه المخروطات البركانية الأرضية.

وقد تمكنت رحلات برامج «أبوللو» الأمريكية (١٧ رحلة) وبرنامج رحلات «لونا» الروسى، من معرفة الكثير عن مختلف ظواهره وصخوره ومعادنه، وأحواله الحرارية والمغناطيسية. وسيأتى اليوم الذى يتمكن فيه الإنسان من إنشاء مستعمرات على سطحه، ويحاول بعلمه وجهده تطويع بيئته الصعبة. ولن نعجب حين ننظر ـ بعد سنوات ـ من خلال منظار فلكى، فنرى مستعمرة آدمية، يشع نورها فى أحضان القمر.



شكل (١٠) جزء من القمر التقط على بعد ٢٩٧٠ كم (أوربيتر ٤) فى أقصى الصورة تبدو فوهة Tsiolkovsky كرقعة سوداء بها نقطة بيضاء تمثل قمة جبلية.



شكل (١١) المنطقة الوسطى للقمر : بحار، وفوهات، وجبال

الفصل الثانى
نشـــأة الأرض
كفرد من أفراد المجموعة الشمسية

الأرض كـوكب من كـواكب المجـمـوعـة الشـمـسـية، وهى تدور حـول الشمس كـغيرها مـن الكواكب. وتعتبـر مشكلة نشأة المجموعة الشمسية ونشأة الكون بوجـه عام من المشاكل الهـامة التى شغلـت أذهان العلماء منذ وقت بعيد.

وقد تعرض العديد من النظريات لتفسير نشأة المجموعة الشمسية. ومن بين النظريات القـديمة تلك النظرية التى تقـدم بهـا إيمانويل كـانت (١٧٢٤ – ١٨٠٤) Immanuel Kant فى عام ١٧٥٥.

نظرية كانت Kant:

يعتقد «كانت» أن الكون يزخر بأجسام صغيرة صلبة فى حالة ثبات، ولكنها كـانت تـختلف عن بـعـضـهـا فى الحـجم والكثافـة . ثم بدأت هذه الأجسام تتجاذب، فتحركت الأجسام الصغيرة منها نحو الكبيرة، وأخذت تتصادم مع بعضها وتلتحم مكونة لأجسام أكبر، واستمرت هذه الأجسام الكبيرة تجذب إلى مجالها الأجسام الأصغر حجماً، فنشأ عن ذلك تكوين عقد ضخمة من المواد الكونية.

وقد أخذت هذه العقد تتجاذب وتتصادم، ونتج عن تصادمها توليد حرارة هائلة كانت كافية لصهرها، ثم تحويلها إلى كتلة غازية متوهجة تشبه السديم. وأصبح هذا السديم يدور حول نفسه بسرعة كبيرة، وبدأت تنفصل منه حلقات غازية نتيجة لقوة الطرد المركزية، كل حلقة منها لها قوة جاذبية خاصة بها، ثم أخذت الحلقات تدور فى إتجاه واحد حول نواة السديم، وهى الجسم المركزى الذى تمثله شمسنا الحالية. وبالتدريج تكاثفت مواد كل حلقة فى هيئة نيازك أخذت تتحد ببعضها بتأثير قوى الجذب مكونة لكوكب. وهكذا تكونت مجموعة الكواكب المعروفة التى تدور

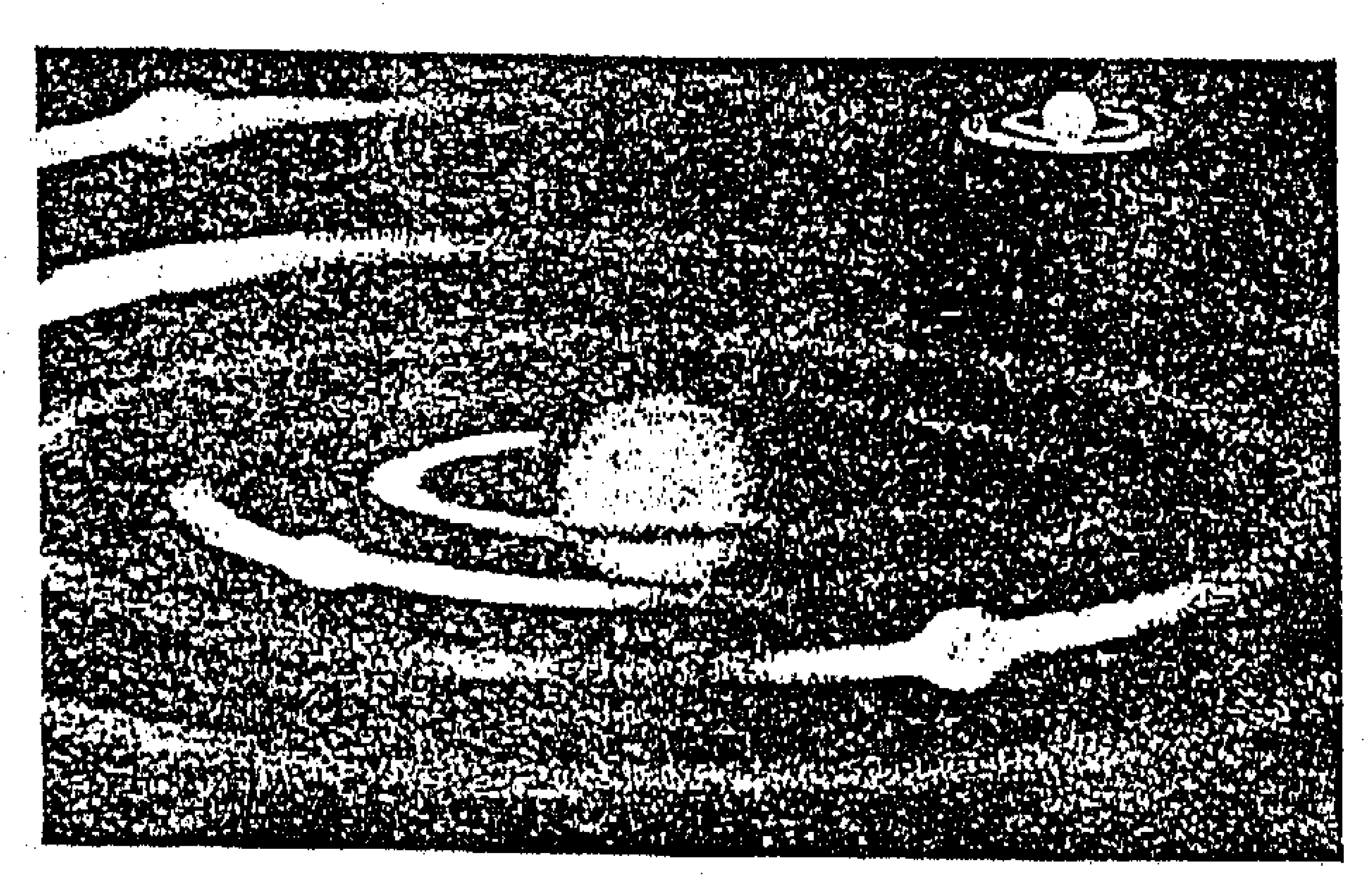
حول الشمس (شكل ١٢).

نظرية بيير لابلاس (١٧٤٨ ـ ١٨٢٧) Pierre Laplace:

وفى عام ١٧٩٦ تقدم «لا بلاس» بنظرية مماثلة لنظرية «كانت» يفسر بها تكوين المجموعة الشمسية وغيرها من المجموعات الكونية الأخرى. وتدّعى النظرية بأن المادة التى تتكون منها الشمس والكواكب وتوابعها كانت عبارة عن جسم غازى ملتهب (سديم nebula) كان يدور حول نفسه (لسبب غير معروف). وبسبب تجاذب مكوناته بدأ السديم يتكاثف عند مركزه، وقد أدى هذا إلى تكوين الشمس. وفى البداية كانت الشمس ما تزال مغلفة بالسديم الذى كان يدور حولها. وكانت أجزاء السديم القريبة من الشمس تدور فى فلك نصف قطره أقصر من أفلاك الأجزاء الأخرى منه البعيدة عنها. ولكنها كانت تتم دورتها فى زمن مماثل للزمن الذى تستغرقه دورة الأجزاء البعيدة. وينشأ عن البعد عن المركز ضعف فى قوة الجذب بينما يشتد ساعد قوة الطرد. وعند حد معين تتعادل القوتان. وقد كان الفاصل بين نظام وآخر يمر خلال ذلك الحد.

وقد أخذت حرارة السديم تنخفض تدريجياً، إذ كانت تشع إلى الفضاء، وبالتالى أخذ يبرد بالتدريج وينكمش. وقد أدى هذا إلى إزدياد فى سرعة دورانه، حتى بلغت تلك السرعة درجة تفوقت عندها قوة الطرد على قوة الجذب المركزية، ونتيجة لهذا بدأ السديم يفقد شكله الكروى، ويتحول إلى شكل شبيه بالكرة، فانبعج عند خط استوائه، وبدأ يتحلل فى شكل حلقات عديدة ضيقة ورفيعة. وبسبب عدم تساوى وانتظام التبريد تحطمت الحلقات، ثم نتيجة لقوى الجذب المتبادل بين الأجزاء المحطمة تكونت الكواكب السيارة حول الشمس (شكل ١٢).

وعلى النّقيض من نظرية «كانت» التى لم تحظ بشىء من الاهتمام، فإن آراء «لابلاس» قد شاعت وذاعت فور نشرها، وأثرت فى الأفكار الفلكية خلال القرن التاسع عشر. وقد فسرت نظرية «لابلاس» أسباب دوران



شكل رقم (١٢) نشأة الشمس والكواكب حسب نظرية كانت ـ لابلاس

الكواكب حول الشمس فى نفس الاتجاه الذى تدور فيه الشمس حول محورها، كما فسرت انتظام مدارات الكواكب فيما يقرب من مستوى واحد، ودوران الكواكب حول محاورها فى نفس اتجاه دروان الشمس حول نفسها.

ونظراً لتشابه ما جاء بنظريتى «كانت» و «لابلاس» من آراء وافتراضات فإنهما تعرفان الآن بنظرية «كانت ـ لابلاس».

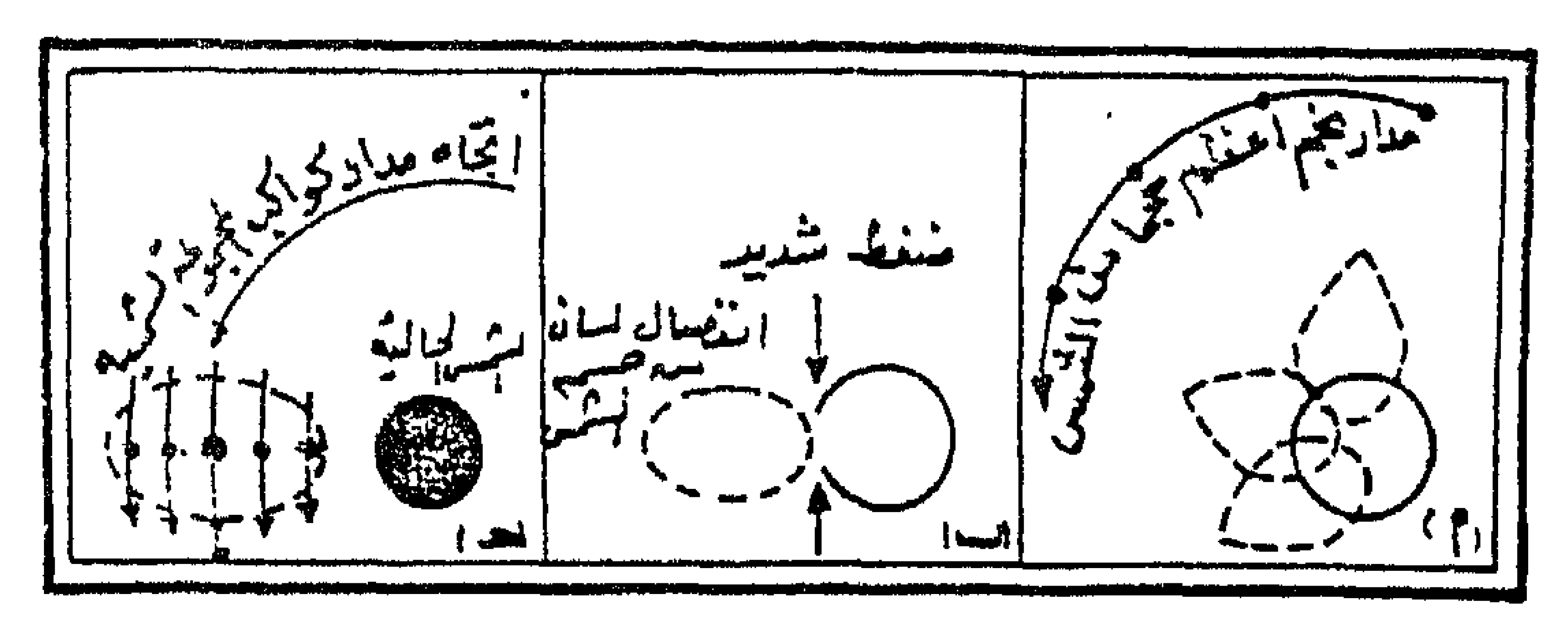
ولقد أدى التعمق فى دراسة الكون والمجموعة الشمسية فيما بعد إلى ظهور عديد من الحقائق التى تناقض آراء «كانت» و «لا بلاس». فلقد أصبح معروفاً على سبيل المثال أن أقمار (توابع) بعض الكواكب لا تدور فى نفس إتجاه دوران الكواكب حول نفسها، وينطبق هذا على الخصوص على بعض أقمار كوكبى أورانوس والمشترى.

وخلال القرن العشرين حدث تطوير لنظرية «كانت - لابلاس» يتمثل فى عدد من النظريات التى تقدم بها مولتون وتشمبرلين Moulton and Chamberlin وجينز وجيفريزJeans & Jeffreys وآخرون.

نظرية مولتون وتشمبرلين :

وتعرف هذه النظرية أيضاً باسم نظرية الكويكبات Planetesmal Hypothesis وقد تقدم بها هذان العالمان فى عام ١٩٠٤. وهى تهتم بتفسير نشأة الكواكب بصفة عامة. وهى على عكس النظريات القديمة لا تعتبر

ميلاد الكواكب كظاهرة فى التطور العام لكتلة أصيلة أصبحت الشمس نواتها المركزية فيما بعد، إذ ترى النظرية أن تكوين الكواكب قد تم عن طريق التأثير المتبادل بين الشمس ونجم آخر أضخم منها حجماً. فقد حدث أن اقترب ذلك النجم من الشمس وجذبها إليه، فحدث فيها تمدد عند جانبيها المقابل والمظاهر للنجم، كما حدث انفجار فى جسم الشمس نتيجة للضغط الشديد الواقع على أجزائها الداخلية، ونجم عن هذا وذاك أن إنفصلت عن جسم الشمس أجزاء أو السنة ملتهبة من المنطقتين اللتين أصابهما المدّ على دفعات متتابعة، ثم أخذت تلك الأجزاء تتلاحم ويجمع الكبير منها ـ بدرجات متفاوتة ـ الأجسام الصغيرة المبعثرة التى تعرف بالكويكبات، وأخذت تنمو إلى أن وصلت إلى حجم الكواكب العشرة المعروفة التى تتكون منها المجموعة الشمسية (شكل ١٣ ـ أ، ب، جـ).



شكل (١٣) : تفسير نظرية الكويكبات

(أ) الشمس الأصلية، وقد اقترب منها نجم أعظم منها حجما، فجذب اليه منها لسانا غازيا عظيم الجرم.

(ب) اللسان يتعرض لضغط شديد وانفجار فينفصل.

(جـ) تكاثف مواد اللسان وتجمعها بالتدرج لتكون كوكبا.

وتحتوى النظرية على أفكار تختص بتركيب الأرض. فهى لا ترى أنه من الضرورى افتراض أن الأرض كانت فى وقت ما فى حالة سائلة أو منصهرة. فالأرض قد نمت وكبرت عن طريق إضافة مواد الكويكبات، وكان نموها سريعاً فى البداية، ثم أخذت سرعة النمو تقل تدريجياً. ولقد ارتفعت

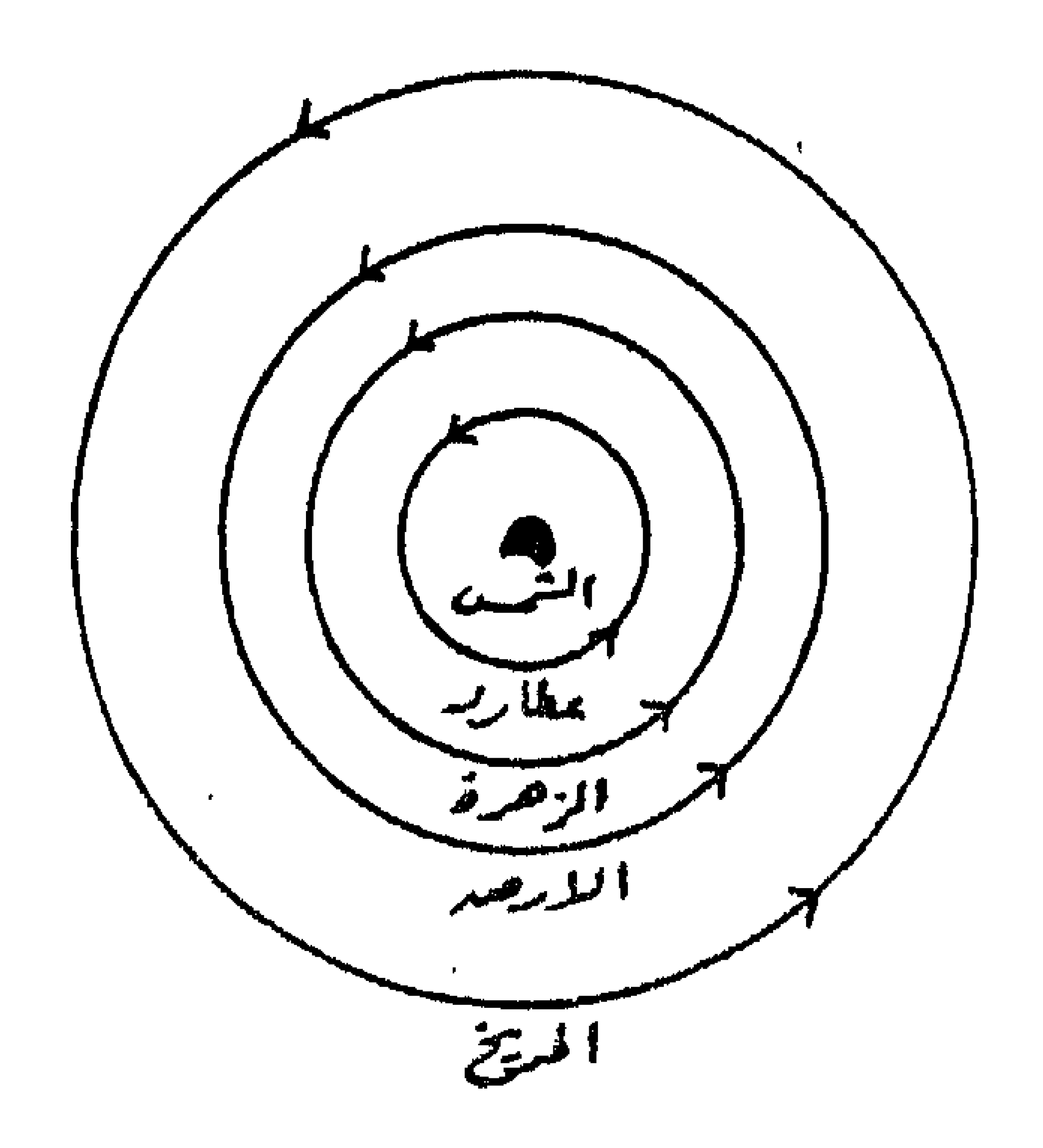
حرارتها الباطنية نتيجة لعمليات التكاثف فى كتلتها أثناء فترة نموها، وقد نشأت جيوب من المواد الأكثر قابلية للانصهار وانبثقت نحو الخارج لتتصلب وتكون القشرة الخارجية الصخرية للأرض، بينما بقيت المواد الفلزية فى الداخل. وتعتقد النظرية أن الغلاف الجوى والغلاف المائى قد نشأ أيضاً من مواد اشتقت من الكويكبات.

نظرية جينز وجيفريز أو نظرية المد الغازى :

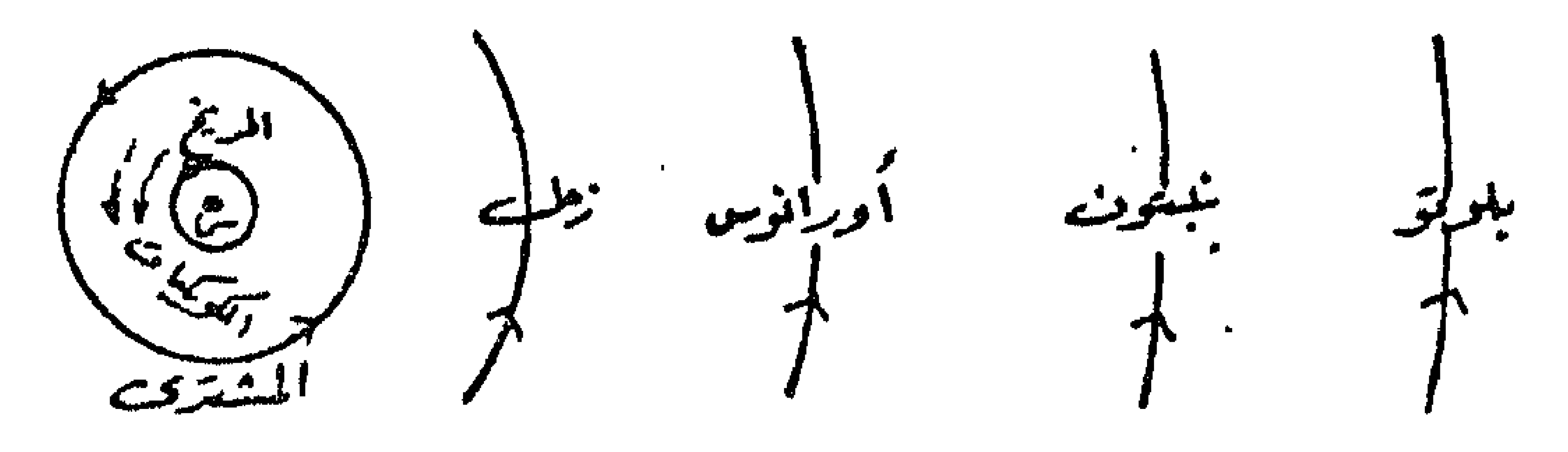
لقد عانت نظرية تشمبرلين ومولتون الكثير من النقد والاعتراض من نواح عدة، هذا على الرغم من أن الأسس التى قامت عليها ما تزال تجد قبولاً عند كثير من الباحثين.

وتقوم نظرية «جينز» و «جيفريز» أساساً على الاعتراف بتأثير قوى الجذب على اعتبار أنها العامل المؤثر الوحيد، وتنكر عمليات الانفجار التى تفترض حدوثها نظرية الكويكبات.

وتدعى هذه النظرية أنه لو اقترب نجم من الشمس أعظم منها جرماً عدة مرات، فإن حواف الشمس ذاتها تتحطم نتيجة لقوى المد العنيفة التى تقذف بالأجزاء المحطمة بعيداً عن الشمس. هذه المقذوفات الملتهبة تحتوى من المواد ما يكفى لأن يجعلها تتماسك فى شكل عمود غازى ضخم لا تتناثر أجزاؤه بكثرة فى الفضاء. وتحت تأثير الجاذبية تتكون عقد متكاثفة خلال ذلك العمود. وتعتقد النظرية أنه بمرور الزمن قد استطاعت هذه العقد أن تكون كواكب مستقلة ذات أعمار متماثلة، وكل منها يدور حول الشمس فى مدار دائرى تقريباً. وقد كان هذا العمود الغازى الذى انفصل عن الشمس أكثر سمكاً وضخامة فى الوسط منه عند طرفيه، وقد أدى هذا إلى أن الكتل أو العقد التى انفصلت واستقلت فى الوسط كانت أكبر من غيرها، ومنها نشأت وتكونت الكواكب الأكبر حجماً. أما الكواكب الصغيرة فقد تكونت عند طرفى العمود الغازى أو بالقرب منهما، ويتفق هذا الترتيب فى أحجام الكواكب مع الحقائق المعروفة الخاصة بالمجموعة الشمسية إذ يشغل الكوكبان العظيمان المشترى وزحل مركزاً وسطاً بين الكواكب (شكل ١٤، ١٥).



شكل رقم (١٤) : يوضح مدارات الكواكب الأربعة القريبة من الشمس

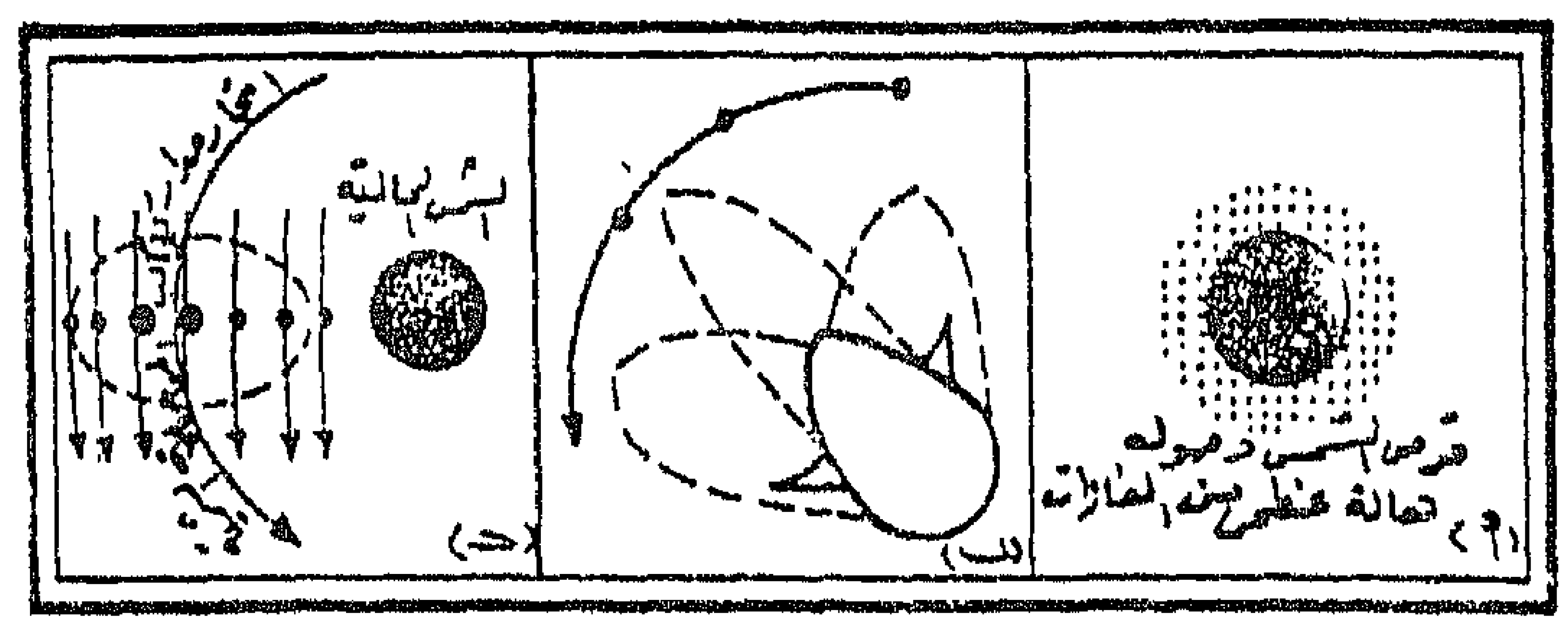


شكل رقم (١٥) : يوضح أجزاء من مدارات الكواكب الأخرى البعيدة عن الشمس بالإضافة إلى مدار كوكب المريخ. ينبغى تصور مدارات الكويكبات العديدة بين فلكى المريخ والمشترى ويمثلها السهمان المتقطعان.

وتفترض النظرية أيضاً أن الأقمار قد انفصلت عن الكواكب تحت تأثير جاذبية الشمس، أو ربما بتأثير النجم الزائر نفسه.

وتذكر النظرية أن الكواكب الصغيرة وكذلك الأقمار لم تتكون عن طريق التكثيف البطيء من الحالة الغازية، لأنها لم تكن لتستطيع أن تقوم بذاتها إلا إذا كانت قد تحولت ولو جزئياً إلى الحالة السائلة أو الصلبة بعد ميلادها مباشرة، وبذلك استطاعت أن تحتفظ بذاتها دون أن تتناثر وتتشتت موادها فى الفضاء. ففى حالة هذه الأجسام الصغيرة نسبياً كان ينبغى أن تتكون مباشرة نواة داخلية سائلة عن طريق التبريد الذى يحدث نتيجة لتمدد الغازات من ناحية، وبسبب الإشعاع الحرارى السطحى من ناحية أخرى. وبهذه الطريقة تفترض النظرية أن الأرض قد بردت إلى أن

وصلت إلى حالة سائلة تماماً، ثُمَّ تصلبت بعد ذلك عن طريق فقدان الحرارة بالإشعاع، وعلى هذا النحو أمكن ترتيب مواد الأرض أثناء عمليات التبريد فى شكل نطاقات أو أغلفة، حسب كثافة المواد المكونة لكل غلاف منها .



شكل (١٦) : تفسير نظرية المد الغازى

(أ) الشمس الاصلية وحولها هالة غازية عظيمة الحجم.

(ب) اقترب منها نجم أعظم منها حجما، فجذب اليه الهالة الغازية.

(جـ) انفصال الهالة الغازية عن الشمس، وابتعادها عنها مكونة عمودا غازيا يشبه «السيجار» فى شكله، أى انه كان اكثر سمكا وضخامة فى وسطه عنه عند طرفيه. وبالتدريج تكاثفت مواده مكونة للكواكب المختلفة، ويلاحظ أن الكواكب فى الوسط أكبر حجما من الكواكب التى تشكلت عند الطرفين.

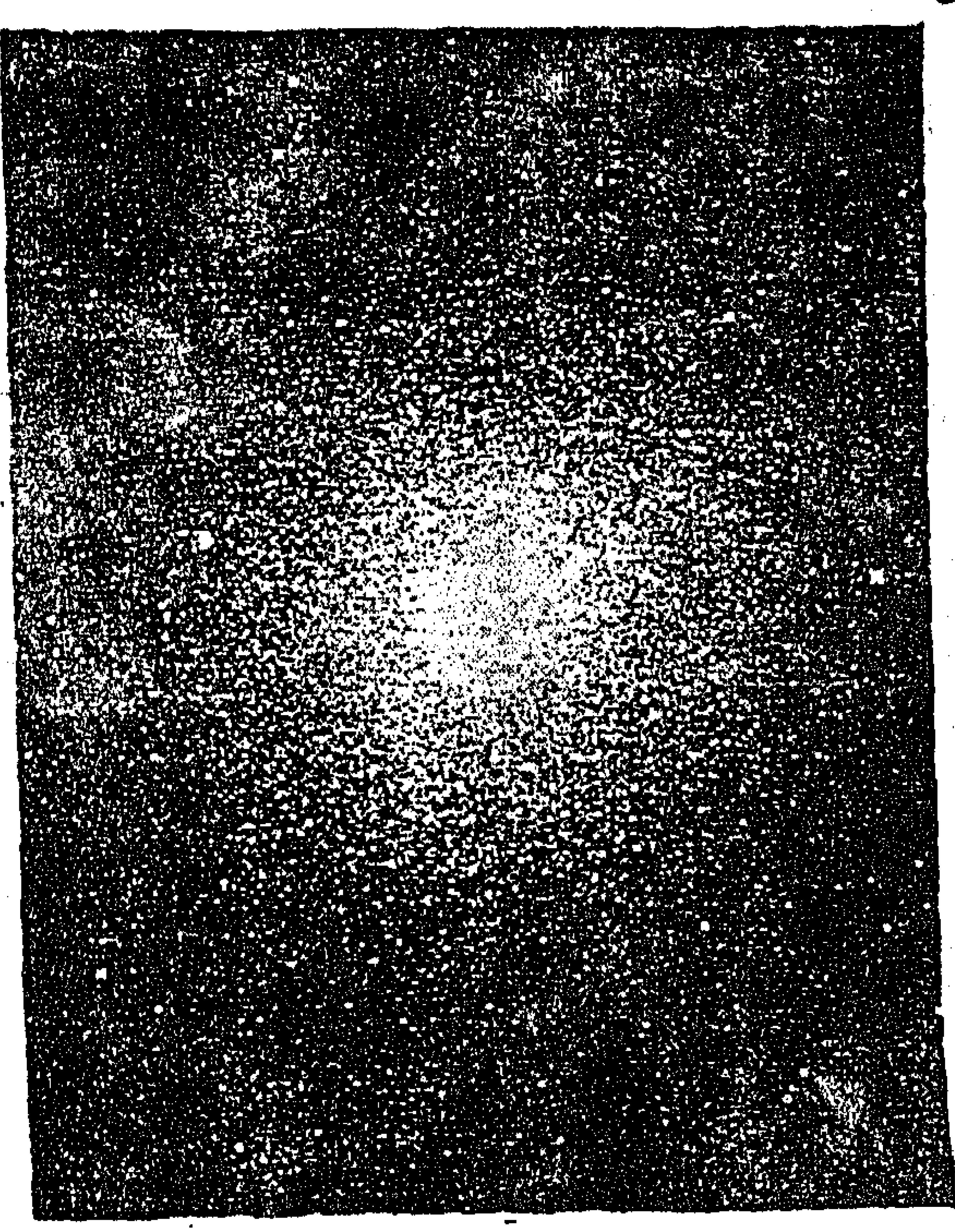
ويعتقد «جيفرين» أن كل هذا التغير والتطور قد حدث فى زمن قصير جداً. وحينما كانت الأرض فى حالة سائلة كانت الحرارة المنبعثة من داخلها إلى سطحها تكفى لتعويض الفاقد من الحرارة عن طريق الإشعاع السطحى. ولكن حين تصلبت القشرة الخارجية لم يكن هناك سبيل لوصول الحرارة الجوفية إلى السطح الخارجى للأرض إلا عن طريق عمليات التوصيل الحرارى البطيئة. ولهذا فقد أخذ سطح الأرض حينئذ يبرد بسرعة. أما بخار الماء الذى كان موجوداً فى الجو البدائى فقد تكاثف حالما تكونت القشرة الأرضية الصلبة، ومن ثم نشأت عمليات التعرية المعروفة ونشطت عمليات تمايز وتشكيل سطح الأرض.

وتفترض جميع نظريات المد الغازى وجود نجمين قد اشتركا عن طريق تأثيراتهما المتبادلة فى نشأة الكواكب.

وعلى الرغم من أننا لا نتناول هنا بالدراسة سوى ما يختص بنشأة

نعرض لبعض ظاهرات الكون الأخرى التى تفيدنا فى تفهم بعض أسس نظريات المد الغازى.

فإلى جانب النجوم وهى النقاط المنيرة التى نراها فى السماء، هناك أجسام أخرى هى السدم Nebulae التى يمكن تمييزها عن النجوم إذ أنها تشغل مساحة كبيرة من السماء، والسدم كما سبق أن أوضحنا أجسام مضيئة رقيقة تبدو فى شكل كتل غازية هائلة الحجم أعظم جرماً بكثير من السديم الذى تصوره لا بلاس فى نظريته. ويمكن اعتبارها بمثابة مجموعات نجمية Stellar Systems قائمة بذاتها. وهى تمر خلال سلسلةمن التغيرات المتتابعة كلما زادت سرعة دورانها نتيجة لانكماشها. وبتأثير دورانها حول نفسها وجاذبية السدم الأخرى المجاورة، نجد أن النطاق الإستوائى منها ينخلع مكوناً لذراعين طويلين يمتدان فى اتجاهين متعاكسين كما يحدث فى السدم الحلزونية Spiral nebulae (شكل ٢ وشكل ١٧). وفى داخل هذه الأذرع تتجمع المواد التى انتشرت من مركز الجسم فى شكل عقد Knots ضخمة، تعادل فى كتلها أعظم النجوم حجماً، وهى فى الواقع تعتبر نجوماً جديدة النشأة.



شكل (١٧) سديم متوهج القلب، ومن حواليه هالة من الأجرام المتكثفة المواد، وهى فى واقع الأمر نجوم وليدة، وليست كواكب وأقمار باردة متصلبة.

هذه العمليات التى تحدث فى السدم الحلزونية تشبه إلى حد ما ـ حسب الاعتقاد السائد الآن ـ ما حدث أثناء تكوين المجموعة الشمسية. ولكننا نجد أن نتاج هذه العمليات لا يتمثل فى تكوين كواكب، وإنما ينشأ عنها تكوين نجوم جديدة، ولهذا لا يمكننا أن نتصور أن العمليات التى تحدث فى السدم الحلزونية (انظر شكل ٢ وشكل ١٧) تعرض لنا صورة ما حدث أثناء تكوين المجموعة الشمسية.

الازدواج النجمي:

(نظريتا هويل Hoyle وليتليتون Lyttleton):

كانت نظرية المد الغازى التى ابتدعها «جينز» فى الأصل، وأحدث بها «جيفريز» التعديل والتحوير تعتبر فى مجموعها مقبولة لتفسير الصورة العامة لعملية نشأة المجموعة الشمسية. وقد ظهر بعد ذلك كثير من الصعوبات أمام صحة هذه النظرية، كما أثيز فى وجهها كثير من الاعتراضات. ولهذا فقد ظهرت نظريات أخرى تحاول تفادى تلك الصعوبات. ولقد اعترف جيفريز نفسه (فى سنة ١٩٥١) أن نظريته بشكلها الذى ظهرت به فى عام ١٩٢٧ تحتاج إلى تعديل بعض جوانبها، كما قد جانبها الصواب تماماً فى بعض جوانبها الأخرى.

ومن بين الصعوبات الرئيسية التى واجهتها هذه النظرية أن الكواكب ما هى إلا قسم يسير من الكتلة الكلية للمجموعة الشمسية، ومع هذا فهى تبعد بعداً عظيما عن الشمس وتتحرك حولها. وإذا حاولنا كما يقول «هويل» أن نخضع المجموعة الشمسية لمقياس نسبى، فنمثل الشمس بكرة فى حجم البرتقالة، فإن جرم الكواكب يقع بالنسبة لتلك الكرة على بعد نحو ١٠٠ متر منها. ولهذا نجد أن المسافات الشاسعة التى تفصل بين الشمس والكواكب لا تعزز أية نظرية تفترض انفصال مادة الكواكب من جسم الشمس، إذ أنه لو أن الكواكب قد انفصلت عن الشمس لكانت تبعد عنها بمسافات قصيرة محدودة.

وهناك اعتراض آخر يوجه إلى نظرية المد الغازى، وهو أن الشمس

تتركب فى معظمها من عناصر خفيفة كالأيدروجين والهليوم، وهى عناصر يقل وجودها فى الأرض، بينما نجد أن الأرض والكواكب الأخرى تتركب من نسب كبيرة من عناصر ذرية مركبة ثقلها الذرى عظيم كالحديد والألمنيوم، وهى عناصر نادرة الوجود فى جسم الشمس. ولهذا نجد أن المواد التى يمكن أن تنفصل عن الشمس بشكل (عمود غازى) أو بآخر، لا يمكن أن تؤدى إلى تكوين مواد كواكب المجموعة الشمسية.

ويقول Lyttleton (١٩٣٦) أنه يمكن التغلب على الصعوبة الأولى لو تصورنا أن الشمس وقت زيارة النجم لم تكن منفردة، بل كان يصاحبها نجم آخر، وظاهرة الازدواج النجمى نجدها شائعة نسبياً فى الكون. معنى هذا أنه كان يوجد ثلاثة أجرام. الشمس والنجم المصاحب لها ثم النجم الزائر. فإذا كان النجم المصاحب للشمس أكثر منها صلابة - وهذا من الممكن افتراضه - ، ويبعد عنها - حسب المقياس المصغر الآنف الذكر - بنحو ١٠٠ متر، فإن تأثير النجم الزائر فى هذا النجم المصاحب قد ينشأ عنه تكوين الكواكب على أبعاد من الشمس تناسب أبعادها الحالية عنها.

وللتغلب على الصعوبة الثانية يفترض هويل (١٩٤٦) أن النجم المصاحب للشمس (سماه سوبر نوفا Supernova) كان يفقد كميات هائلة مما يحويه من الايدروجين بالإشعاع. وقد تسبب هذا فى تقلصه وانكماشه، وبالتالى ازدادت سرعة دورانه فانفجر بشدة وعنف. ويعتقد «هويل» أن عنف الانفجار النجمى قد أدى إلى طرد نواة هذا النجم المصاحب للشمس بعيداً عن مجال جاذبية الشمس، بينما بقيت كتلة من الغاز كانت كافية لتكوين قرص مستدير يدور حول الشمس، وفيه نشأت وتكاثفت الكواكب المعروفة فيما بعد. وترى النظرية أن انفجار السوبر نوفا قد ولّد حرارة هائلة بلغ مقدارها ٥ × ١٠^٩ درجة مئوية، وهى الحرارة التى يعتقد أنها كافية لتأليف العناصر الثقيلة التى تتركب منها الكواكب. ومثل هذه الدرجات العالية من الحرارة لا نجدها حتى فى الأجزاء المركزية من أى نجم من النجوم الثوابت العادية. ويمكن اعتبار ما جاء بنظريتى ليتليتون وهويل بمثابة تفسير عام لا بأس به لنشأة المجموعة الشمسية .

نظريات أخرى :

لقد تقدم العلماء الروس ببعض النظريات فى محاولات أخرى لتفسير نشأة المجموعة الشمسية. ومن بين هؤلاء العلماء أوتو شميت Otto Schmidt الذى تقدم بنظرية فى عام ١٩٤٤ مؤداها أن الكواكب التى تتكون منها المجموعة الشمسية قد نشأت عن سديم غازى استطاعت الشمس أن تجذبه إليها أثناء تحركه فى الفضاء. ولقد حدث أن اتحدت الأجسام الصلبة (نيازك) فى مجال كتلة السديم الغازية تحت تأثير قوى الجاذبية، فنشأ عن ذلك تكوين الكواكب المعروفة. ويعتقد صاحب النظرية أن الكواكب كانت تنمو بسرعة فى البداية حينما كانت تجذب إليها النيازك بكثرة فتتساقط عليها وتتّحدبها، وفى أثناء المليونى سنة الأخيرة قل ورود النيازك إلى الأرض بدرجة كبيرة. ويعتقد «شميت» أنه قد صار إعادة توزيع كتل النيازك فى جرم الأرض وهى فى حالة ليونة دون أن تمر فى مرحلة سيولة إنتقالية. ويقول «شميت» إن الأرض لم تكن على درجة كبيرة من الحرارة، وقد حدث تسخين الأرض ورفع درجة حرارتها عن طريق تحلل العناصر المشعة.

وقد أمكن لهذه النظرية أن تفسر بعض الظاهرات الخاصة بالمجموعة الشمسية كالمدارات الدائرية، ودورات الكواكب، والقوانين التى تحكم المسافات بين مختلف الكواكب، وتقسيم الكواكب إلى مجموعتين : مجموعة من الكواكب الكبيرة وأخرى من الكواكب الصغيرة من مثل طابع الأرض.

ومن أهم نقط الضعف فى نظرية «شميت» هى تفسير نشأة النيازك حول الشمس، وهى التى تكونت الكواكب من موادها فى الأصل. ولقد أمكن - رياضياً - إثبات أنه من الممكن للشمس أن تجذب سحباً من هذه الأجسام من مجال المجموعة النجمية التى تنتمى إليها الشمس وهى المعروفة باسم «جالاكسى» Galaxy ، وذلك فى حالة افتراض التأثير المتبادل بين ثلاثة نجوم. ومع هذا فيقال أن هذه الإمكانية من الندرة بحيث تجعل

عملية تكوين الكواكب ظاهرة وحيدة فى الكون.

وقد حدى هذا بالعلماء الروس أن يبحثوا عن تفسيرات أخرى لمصدر وأصل السحب الغازية المتربة حول الشمس. ولقد دلت الدراسات التى قام بها الفلكى الطبيعى الروسى أمبارسوميان V.A. Ambarsumyan أن النجوم تتكون باستمرار نتيجة لتكثيف مواد من السدم الغازية المتربة Gas - dust Nebulae .

وعلى أساس هذه الحقيقة، تقدم الفلكى الروسى فيسينكوف V. A .Fesenkov بنظرية مؤداها أن الشمس والكواكب التى تدور حولها قد نشأت من وسط غازى مترب. وتدعى النظرية أنه فى الوقت الذى تكونت فيه الشمس كنجم عادى أخذت تنفصل منها أجزاء عند نطاقها الاستوائى نتيجة لعظم حجمها وشدة سرعة دورانها. وقد كونت هذه الأجزاء المنفصلة سحابة غازية متربة كثافتها غير منتظمة التوزيع. ثم حدث بعد ذلك تكثيف فى داخل السحابة حول نوايات أخذت تنمو عن طريق الجاذبية مكونة للكواكب المعروفة. معنى هذا أن تكوين الكواكب ما هو إلا جزء من العملية العامة التى يتم بها تكوين النجوم وهى ظاهرة شائعة الوجود فى الكون. وقد سبق أن استبعدنا إمكانية تطبيق هذه الظاهرة على تكوين المجموعة الشمسية.

الهدف من الدراسة فى الباب الأول
فى مجال الكوارث الطبيعية

لقد قصدتُ بهذه الدراسة تعريف القارىء الفاضل بهذا الكون الغامض، الواسع الفسيح، الممتدّ والمتمدّد دائما، والذى عجز الإنسان عن الوصول إلى حدوده، إن كانت له حدود، وبما يحويه من أجرام غاية فى الضخامة، وبأعداد لا حصر لها، تنتظم فى سلسلة من الأجيال عددها أربعة، تختلف عن بعضها فى الحجم والكثافة، وهى المواد المكونة لها. ولكل منها دورة حياة، لكن ما يولَدُ منها ويظهر يفوقُ ما يموت منها ويفنى... وكلٌّ فى فلك يسبحون.

ولقد خلق الله الإنسان، تاج الخليقة، بعقله الراجح، يفكر فى خلق الكون، وكيفية نشأته وتكوينه، بسدمه، ومجراته، ونجمومه، وكواكبه، وأقماره، ومذنباته، وشهبه، ويتفكر فى عظمة الله، الذى أحسن صُنعه. وكلما توصّل الإنسان إلى نظرية تُفسّر الخلق والتكوين والنشأة، وجدها قاصرة، فيعاود المحاولة. وبالصبر والمثابرة، يهدى الله من يشاء إلى معرفة بعض من أسرار مخلوقاته.

ونحن نعيش على الأرض، إحدى أفراد الجيل الرابع، كوكب طيب، نعرفُ الكثير عن خصائصه، وهو الوحيد المحظوظ بظروف مناسبة، لاءمت معيشة الإنسان العظيم... الحياة فوقه غنيّة : مزارع كثيرة تعتمد على المياه... وللنبات تغيرات فصلية، والسبب أن الكوكب يميل أولا بنصفه، ثم بعد ذلك بالنصف الآخر تجاه الشمس أثناء مداره حولها، الذى يستغرق ٣٦٥ يوما، والدورة حول محوره تتمّ فى ٢٤ ساعة، له قمر واحد يبعد عنه بنحو ٣٨٤٣٩٥ كم.

هذا الكوكب الطيّب حىٌّ دائما، ومعطاء دائما، لكن تحدث فى أغلفته الخارجية والداخلية عمليات تسبب الكوارث لبنى الإنسان، ربما كلما نسى نفسه وافترى وتكبّر وتجبّر، لكى يتذكر الخالق، ويرفع كفّيْه إلى السماء داعيا إياه بالرحمة، وكشف الغمّة، ولكى يكون رحيما بمن فى الأرض، حتى يرحمه من فى السماء.

الباب الثانى

أغلفة الكرة الأرضية
مصدر الكوارث الطبيعية

الفصل الثالث : الغلاف الجوى وعوامل تلوثه وكوارث تلوثه

الفصل الرابع : مناطق الاضطراب والحركة فى الغلاف الجوى والكوارث التى تنشأ بسببها.

الباب الثانى
أغلفة الكرة الأرضية
مصدر الكوارث الطبيعية

أبعاد الأرض

الأرض فى واقع الأمر ليست كرة هندسّية متقنة، وهذه حقيقة سبق أن اكتشفها «نيوتون» فى نهاية القرن السابع عشر. وقد أثبت القياس الدقيق فيما بعد أن هناك اختلافات بين أبعاد الكرة الأرضية. فقد ظهر أن القطر الإستوائى أطول من قطرها القطبى بنحو ٤٣,٥ كيلو مترا، إذ يبلغ القطر الإستوائى ١٢٦٨٣,٥كم، والقطر القطبى ١٢٦٤٠كم. معنى هذا أن شكل الأرض مفرطح أو منبسط عند القطبين، ومنبعج أو منتفخ عند دائرة الإستواء، ونسبة الفرطحة هى : ١ : ٢٩٧

$$\frac{\text{القطر الإستوائى ـ القطر القطبى}}{\text{القطر الاستوائى}} = \frac{١}{٢٩٧}$$

أما محيط الكرة الأرضية فإنه يزيد نوعا فى دائرة الاستواء عن المحيط المار بالقطبين، فالمحيط الاستوائى يبلغ طوله نحو ٤٠٠٧٦ كم، والقطبى نحو ٤٠٠٠٧ كم، والمسافة بين أى من القطبين وخط الاستواء حوالى ١٠,٠٠٠ كم، وتُقدّرُ مساحة سطح الكرة الأرضية بحوالى ٥١٠ مليون كم٢.

ويرجع السبب فى اختلاف الأبعاد، إلى فعل القوة الناشئة عن دوران الأرض حول نفسها، وهى المعروفة «بقوة الطرد المركزية» التى تصل إلى أقصاها عند دائرة الإستواء، وإلى أدناها عند القطبين، ولا يعنى هذا أن ظاهرة الانبعاج والتفرطح دائمة، وأنها ما تزال تحدث حتى الآن، ذلك أنها كانت فعالة أثناء المراحل الأولى فى تكوين الأرض، حينما كانت موادها ليّنة، تقبل التشكيل، وقد توقفت بعدما تصلبت واندمجت قشرة الأرض،

ومعروف أن هناك قوة أعظم بكثير من قوة الطرد، وهى قوة الجاذبية، التى تعمل على تماسك مكونات الأرض، وعدم تفككها وتشتتها فى الفضاء.

أغلفة الأرض

إن ما يحدث من كوارث طبيعية تصيب البشرية فى الأنفس والممتلكات، تَصْدُرُ فى أغلفتها الجوفية والظاهرية، التى ترتبط ارتباطا مباشرا وغير مباشر بكل الظواهر الطبيعية والحيوية والبشرية على سطح الأرض. ويمكن تمييز الأغلفة الكبرى التى يتألف منها كوكب الأرض والتى تمسُّ حياة الإنسان بطريق مباشر فيما يلى :

١ـ الغلاف الجوى
٢ ـ الغلاف المائى
٣ ـ الغلاف الصخرى
٤ ـ الغلاف الحيوى

الفصل الثالث

الغلاف الجوى

تعريفه وخصائصه الطبيعية وكوارث تلوثه

الغلاف الجوى Atmosphere هو غطاء الهواء السميك الذى يحيط بالكرة الارضية احاطة تامة، والذى يتألف من مخلوط غازى يبلغ سمكه نحو ٣٥٠ كيلو مترا، بداية من منسوب سطح البحر. وليس للهواء لون ولا طعم ولا رائحة. ويشعر الانسان به حين يتحرك، والهواء المتحرك يسمى رياحا. والهواء مرن، وقابل للتمدد والانكماش أو الانضغاط، وله وزن وحجم وكتلة. وتقدر كتلة الغلاف الغازى بحوالى ٦ × ١٠^١٤ طنا، يوجد نصفها محتشدا فى سمك يبلغ نحو ٦ كيلو متر من سطح البحر. والغلاف الجوى شفاف ويخترقه الاشعاع الشمسى الذى يصل سطح الارض، فيكسبه الخصوبة ويمنحه الحياة.

وتهتم الجغرافيا بدراسة الغلاف الجوى بعامة، وطبقته السفلى بخاصة، تلك الطبقة التى تلمس سطح الأرض، وتؤلف من كتلة الغلاف الغازى نحو تسعة أعشاره (٩٠٪ من كتلته)، كما وتتركز فى هذه الطبقة التى تسمى تروبوسفير Troposphere ، نحو ٩٩٪ من الغازات الثقيلة التى يتركب منها الغلاف الجوى، وهى الغازات اللازمة للحياة على سطح الارض، وأخصها الاوكسجين والنيتروجين. وفيها تتكون المنخفضات الجوية فى الجهات المعتدلة والاعاصير المدارية وتتحرك الكتل الهوائية، وكلها ذات تأثير مباشر فى حياة الكائنات على سطح الارض، اضافة الى تحرك الرياح وحدوث المطر وتكون الثلج والبرق والرعد، وغير ذلك من ظاهرات الجو.

وينظم الغلاف الجوى نفاذ الاشعاع الشمسى الى سطح الارض، كما ينظم فقدان الارض لحرارتها بالاشعاع الارضى من خلاله الى أجواز الفضاء، وتبعا لذلك تبقى درجات الحرارة مناسبة لحياة مخلوقات الله على

سطح الارض. ولولا وجود الغلاف الغازى لانعدمت الحياة على سطح الارض، كما هى الحال فوق الكواكب الاخرى من صنف الارض، التى تفتقر الى جو مثل جوها، ومن ثم ترتفع حرارتها الى ما فوق درجة غليان الماء نهارا، وتهبط الى ما دون درجة التجمد بكثير أثناء الليل. وفضلا عن ذلك فان الغلاف الجوى يحمى الارض من تساقط كتل الشهب والنيازك التى تجذبها اليها من فضاء المجموعة الشمسية، وذلك أنها حين تخترقه بسرعة تحترق وتتفتت وتصل الى سطح الأرض فى هيئة رماد غير ضار.

وقد فتح التقدم العلمى العظيم الذى حدث فى العقود الاخيرة أفاقا جديدة لدراسة وكشف خبايا التروبوسفير من جهة، والتعرف على خصائص ما فوقه من طبقات أخرى يتألف منها الغلاف الجوى من جهة أخرى. وتبين بالدليل القاطع أن اضطرابات الجو التى تحدث فى التروبوسفير تتأثر بالحركة والاضطراب الذى يحدث فى طبقات الجو العليا.

والجو النقى الجاف مخلوط من الغازات وليس مركبا كيميائيا، ويمكن فصل هذه الغازات عن بعضها. وتتناقص كثافته بالارتفاع بسبب سهولة انضغاطه. فكثافة الهواء عند منسوب البحر ١,٢ كيلو جرام/ م٣، وتتناقص الى نحو ٠,٧كج /م٣ عند ارتفاع ٥٠٠٠ متر، وهو أعلى مستوى يمكن للانسان المعيشة عنده.

وهناك عدة قوانين تحكم العلاقات الرئيسية بين المتغيرات الاربعة فى الغلاف الجوى وهى : ١ ـ درجة الحرارة ٢ ـ الضغط الجوى ٣ ـ الكثافة ٤ ـ الحجم، يمكن اجمالها فيما يلى :

تركيب الغلاف الجوى

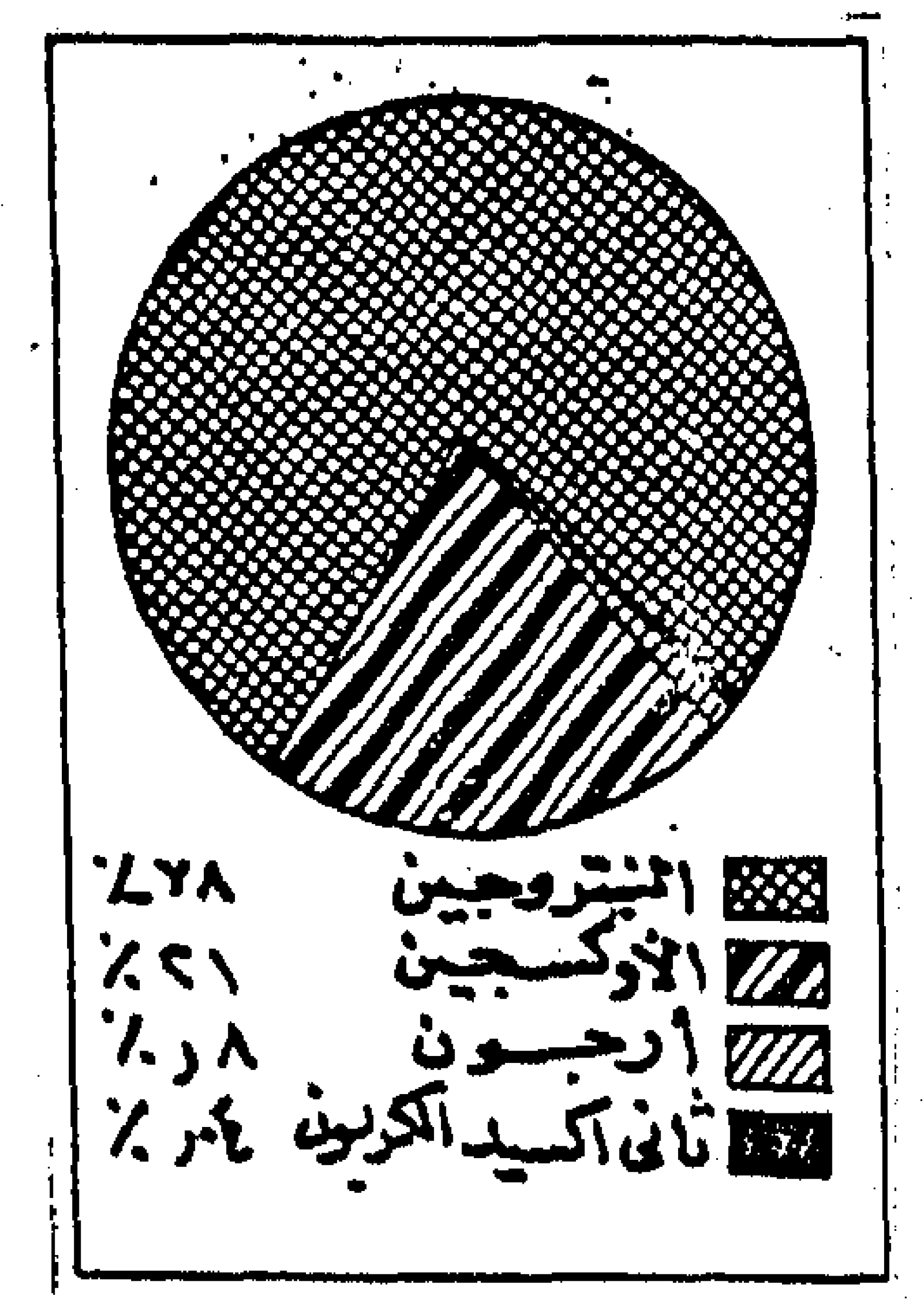
الغازات التى يتألف منها الغلاف الغازى

يتألف الغلاف الجوى من أربعة غازات رئيسية هى بحسب أهميتها النسبية فيه كما يلى : النيتروجين، الأوكسجين، الارجون، ثانى أوكسيد

الكربون، وتكون مجتمعة نحو ٩٩,٩٨٪ من حجم الغلاف الجوى. ويؤلف النِّيتروجين وحده نحو ٧٨٪ من حجم الهواء، والاوكسجين حوالى ٢١٪. وتدخل الغازات الاربعة الآنفة الذكر فى تكوين الغلاف الجوى بنسب ثابتة، ومن الغازات الاخرى التى تشبهها فى ثبات نسبها بالجو النيون Neon (٠,٠١٨٪) والهيليوم (٠,٠٠٠٥٪) والاوزون (٠,٠٠٠٠٦٪).

ويبين الجدول الآتى أهم الغازات التى يتألف منها الغلاف الجوى، ونسبها المئوية بحسب الحجم Volume ، والوزن أو الثقل Weight، والوزن الذرى.

الغــــاز	النسبة المئوية بحسب الحجم	النسبة المئوية بحسب الوزن	الوزن الذرى
النيتروجين	٧٨,٨٠	٧٥,٥٢٧	٢٨,٠٢
الاوكسيجين	٢٠,٩٤	٢٣,١٤٣	٣٢,٠٠
الأرجون	٠,٩٣	١,٢٨٢	٣٩,٨٨
ثانى أوكسيد الكربون	٠,٠٣	٠,٠٤٥	٤٤,٠٠
النيون	٠,٠١٨		٢٠,١٨
الهيليوم	٠,٠٠٠٥		٠,٤٠
الاوزون	٠,٠٠٠٠٦		٤٨,٠٠
الهيدروجين	٠,٠٠٠٠٥		٢,٠٢
كريبتون	قليل جدا		
ميثان	قليل للغاية		



شكل (١٨) : العناصر التى يتكون منها الهواء

وفيما يلى وصف لأهم غازات الغلاف الجوى

النيتروجين :

هو أكثر الغازات انتشارا فى الغلاف الجوى، غير أنه غاز خامل، فلا يتحد مع غيره من الغازات بسرعة. وهو يدخل فى تكوين كثير من المركبات العضوية، وهو يستطيع اذابة الاوكسجين، وتبعا لذلك ينظم عمليات الاحتراق والاكسدة. واليه يرجع الفضل الكبير فى ضغط الهواء وقوة التيارات الهوائية وانكسار الاشعاع الشمسى عند اختراقه للغلاف الجوى، ويساعد على تحطيم الشهب والنيازك قبل وصولها الى سطح الارض.

الاوكسجين :

غاز واسع الشيوع فى الغلاف الجوى، وهو على عكس النيتروجين غاز نشيط، يتفاعل ويتحد بسرعة مع كثير من العناصر الكيميائية، وهو لازم لحدوث عمليات الاحتراق، وتتوقف على وجوده الحياة على سطح الارض.

ثانى أوكسيد الكربون :

وينشأ عن الاحتراق والزفير من الانسان والحيوان، وينبثق من البراكين، وتمتصه النباتات لتأخذ منه الكربون وتطلق الاوكسجين الى الجو فيما يسمى بعملية التمثيل الكلوروفيللى. وتختلف نسبته لذلك من مكان لآخر، فهى قليلة فى الريف وحيث يكثر النبات، بينما ترتفع فى جو المدن، نظراً لازدحامها بالسكان ووجود المصانع والمعامل التى تنفث هذا الغاز. ويساعد وجود هذا الغاز فى الجو على حفظ الاشعة الحرارية التى يشعها سطح الأرض بعد أن يمتصها من الاشعاع الشمسى، وبالتالى تبقى طبقة التروبوسفير محتفظة بحرارة مناسبة. وهناك من يرى أن النقص الكبير فى نسبة ثانى أوكسيد الكربون يؤدى الى تبريد الجو العالمى، ويتسبب فى احداث عصر جليدى، كما حدث وتكرر عدة مرات أثناء الزمن

الرابع.

وعلى الرغم من أن غاز ثانى أوكسيد الكربون يحسب من بين الغازات التى توجد فى تركيب الغلاف الجوى بنسب ثابتة، فانه قد لوحظ تغير نسبته، وجنوحها الى الارتفاع، فقد ازدادت بما يقرب من ١٠٪ منذ بداية الثورة الصناعية فى أوربا، وتوليد الطاقة اللازمة عن طريق حرق مختلف أنواع الفحوم، منذ أواخر القرن التاسع عشر وحتى وقتنا الحاضر.

ومن بين الغازات الضارة التى أدخلها الانسان بنشاطه فى بيئته، ولوث بها طبقة الجو القريبة منه والمؤثرة فى حياته، غاز أول أوكسيد الكربون، وهو غاز سام، اضافة الى بعض المواد الكربوهيدراتيه التى تنتج من احتراق وقود السيارات احتراقا غير كامل. وقد امتد تلويث الانسان الى الطبقات العليا من الجو، ومنها طبقة الاوزون، التى تحتفظ الآن بكميات كبيرة من الغازات التى تنفثها محركات الطائرات النفاثة التى تطير خلالها، كما استقرت فى تلك الطبقات الاشعاعات الذرية الناشئة عن التفجيرات النووية التى أجراها الانسان منذ تفجير قنبلة هيروشيما فى عام ١٩٤٥ وحتى وقتنا الحالى.

الاوزون :

لا يوجد هذا الغاز الا بنسب قليلة للغاية فى الطبقة السفلى من الغلاف الجوى (التروبوسفير) لا تزيد على جزء فى المليون، لكنه يوجد بكثرة على ارتفاع يتراوح بين ١٥ ـ ٥٥كم، فيما يسمى بطبقة الاوزونوسفير، وينتج هنا من انشطار ذرات الاوكسجين بفعل الاشعاع الشمسى فوق البنفسجى، واتحاد بعض ذرات الاوكسجين مع ذرات أخرى. وتبلغ نسبة تركز هذا الغاز أقصى حد لها على ارتفاع ٣٥كم. وللاوزونوسفير فائدة كبرى للحياة على سطح الارض، ذلك أن غاز الاوزون يتميز بالقدرة على امتصاص معظم الاشعة فوق البنفسجية التى تصله، خاصة منها ما يقل طول موجاته عن ٠,٢٩ ميكرون، وهى تمثل

نحو ٥ ٪ من الاشعاع الشمسى، فلا ينفذ من هذه الطبقة ويصل الى الارض سوى جزء ضئيل. وبالتالى تضعف اثارها السيئة، مثل ضربات الشمس، على الانسان والحيوان، بل ان هذا الجزء قد يفيد فى ابادة بعض الجراثيم. ويساعد امتصاص غاز الاوزون لهذه الاشعة على رفع درجة حرارة الاوزونوسفير.

بخار الماء :

هو من بين الغازات التى تدخل فى تركيب الغلاف الجوى بنسب متغيرة وغير ثابتة، فهى قد تقترب من الصفر فى المناطق الصحراوية الجافة، وقد ترتفع الى نحو ٤ ٪ من جملة وزن الهواء فى المناطق الكثيرة الرطوبة. وينحصر وجود بخار الماء فى الطبقة السفلى من الغلاف الجوى، ويكاد ينعدم فوق ارتفاع ١٠كم. ورغم صغر كمية بخار الماء فى الجو، فانها سبب نشأة معظم الظواهر الجوية، فهى مصدر تكون السحب وسقوط المطر، وتكون البرد والثلج والندى. ويشترك بخار الماء مع ثانى أوكسيد الكربون والغبار فى خاصية امتصاص الاشعاع الشمسى وحفظه من التشتت فى الفضاء. وبالتالى يوفر للحياة على سطح الارض درجات حرارية مناسبة.

الغبار والاملاح والدخان :

ويعلق فى جو طبقة التروبوسفير مركبات تدخل فى تكوينه بنسب متغيرة، هى تلك الشوائب من الغبار والرمال والاتربة والدخان والاملاح. وتختلف نسبتها من مكان لآخر، فتبلغ نسبتها فى جو الريف النظيف ١٠٠ جزء فى كل سنتيمتر مكعب، بينما ترتفع الى عدة ملايين جزء فى كل سنتيمتر مكعب من هواء المدن، خاصة منها المدن الصناعية والمزدحمة بالسكان.

وللغبار فى الجو المحيط بالارض مصادر عدة، أهمها المصادر الارضية، لهذا كان من الطبيعى أن يتركز فى الطبقة السفلى من الغلاف

الجوى، وبعض هذه المصادر أرضى غير عضوى. كالفتات الصخرى الذى تثيره وتذريه الرياح، **والغبار البركانى** الذى تنفثه البراكين حين ثورانها، ودخان الكربون المتصاعد من مداخن المصانع والذى يعرف **بالغبار الصناعى**، ثم جزئيات الاملاح التى تتطاير بالرش حين تصطدم الامواج بالشواطىء، ويسمى **الغبار الملحى**، ثم هناك الغبار الكونى، ومصدره الشهب والنيازك التى تحترق عند دخولها الغلاف الجوى منجذبة نحو سطح الارض، فتتفتت وتتحول الى رماد ينتشر فى الجو. ويقدر وزن الغبار الكونى الذى يدخل الغلاف الجوى بنحو خمسة مليارات كيلو جرام كل عام. وهناك **الغبار العضوى** كالمواد الحيوانية والنباتية المفتتة والجراثيم وحبوب اللقاح النباتى.

وتبدو ذرات التراب عالقة فى الجو، وهى لا ترى بسبب دقتها ويعمل الغبار على امتصاص جانب من الاشعاع الشمسى، حتى ليقال ان كثرته عامل مساعد على انخفاض درجات الحرارة العالمية، وحدوث تبريد يؤدى الى أن يتحول التساقط الى ثلج، فيدخل العالم فى فترة جليدية. ولقد يتم ذلك عقب عصر يسوده النشاط البركانى، فيشيع الغبار البركانى ويملأ الجو.

وتعمل ذرات الغبار التى توجد فى الطبقة السفلى من الغلاف الجوى على انعكاس الاشعاع الشمسى، وانتشار الاشعة وتكوين الشفق، والى انتشار الاشعة البنفسجية والزرقاء بسبب الغبار وبخار الماء، يعزى ظهور السماء بلونها الازرق القاتم أو الفاتح تبعا لطول أو قصر الاشعة الشمسية ولولا ذلك لظهرت السماء حالكة السواد، لا يرى فيها سوى قرص الشمس اللامع المبهر، مثلما نرى النجوم حين تتلألأ فى سواد سماء الليالى المظلمة. ويتعاون الغبار مع بخار الماء فى ضغط الاشعاع الارضى فى طبقة التروبوسفير. علاوة على أهميته فى حدوث التكاثف بمظاهره المختلفة.

ويضاف الى المواد العالقة التى تدخل فى تركيب الغلاف الجوى عوالق من نوع جديد. بدأت ترد اليه منذ التفجير الذرى على مدينة

هيروشيم اليابانية عام ١٩٤٥ ، ونعنى به الغبار الذرى الذى يتساقط فى مناطق التفجير، أو فى مناطق أخرى حيث تسوقه الرياح، ويتساقط مع المطر. ويترتب على ذلك ترسب العناصر المشعة التى من أهمها السيسيوم Cesium والاسترونتيوم Strontium ، التى تستقر فى عظام الانسان والحيوان وتصيبها بأمراض الدم والسرطان وأمراض الجهاز العصبى التى يستعصى شفاؤها.

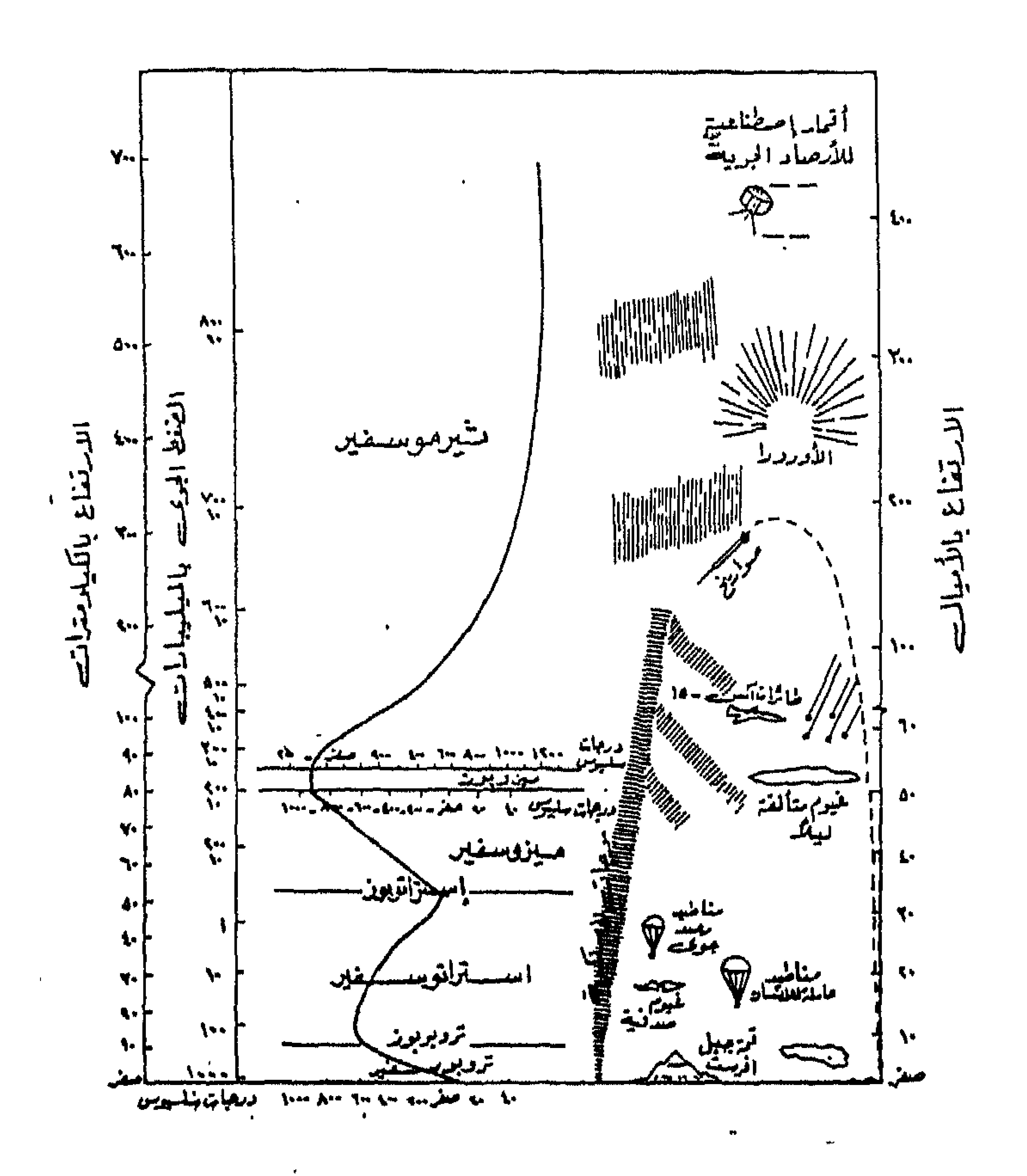
ولاشك أن لزيادة العوالق والشوائب من الغبار بأنواعه المختلفة آثارا بعيدة المدى على ظواهر المناخ كما أسفلنا، لان كثرتها تؤدى الى تناقص كمية الاشعاع الشمسي الواصل الى الارض بسبب امتصاصها لقسم منه وعكسها لقسم أخر، فيزداد تبريد الجو العالمي. أضف الى ذلك أن كثرة العوالق تساعد على تكاثف بخار الماء لانها تشكل نويات يتكاثف حولها بخار الماء، وبذلك يزداد تكون السحب وتتهيأ الفرص لزيادة التساقط على هيئة ثلج. ولعل ذلك يشير الى أن العالم مقبل على دور جليدى خامس.

الطبقات الرئيسية للغلاف الجوى

تتباين خصائص الغلاف الجوى أفقيا من مكان لآخر، كما تتنوع رأسيا بالارتفاع عن مستوى سطح البحر. ولقد يصعب تحديد المدى الرأسى أو سمك الغلاف الجوى على وجه الدقة، وذلك لعدم وجود حدود حادة فاصلة بينه والفضاء الخارجي. لكن قد اصطلح العلماء على تقسيمه الى أربع طبقات رئيسية على أساس التباين الرأسى فى الكثافة ودرجة الحرارة والضغط الجوى.

طبقة التروبوسفير

طبقة التروبوسفير Troposphere تمثل المستوى السفلى من الغلاف الجوى الذى يعلو سطح الارض مباشرة. ويبلغ سمكها حوالى ١٢كم، لكن هذا السمك يختلف فى النطاق الحار عنه فى المناطق القطبية. ففى المناطق المدارية يبلغ نحو ١٧كم، وذلك بسبب تيارات الحمل الصاعدة



شكل (١٩) التوزيع الراسى للحرارة والضغط الجوى والظواهر الأخرى فى الغلاف الجوى

نتيجة لتمدد الهواء بواسطة الحرارة. بينما يقل السمك فى المناطق القطبية بسبب الهواء البارد الثقيل الهابط. وطبقة التروبوسفير هى أكثر طبقات الجو نشاطا، ففيها تتكون السحب والعواصف والتساقط بأنواعه، لذلك فهى أهم طبقات الغلاف الجوى بالنسبة لحياة الكائنات على سطح الأرض.

خصائصها

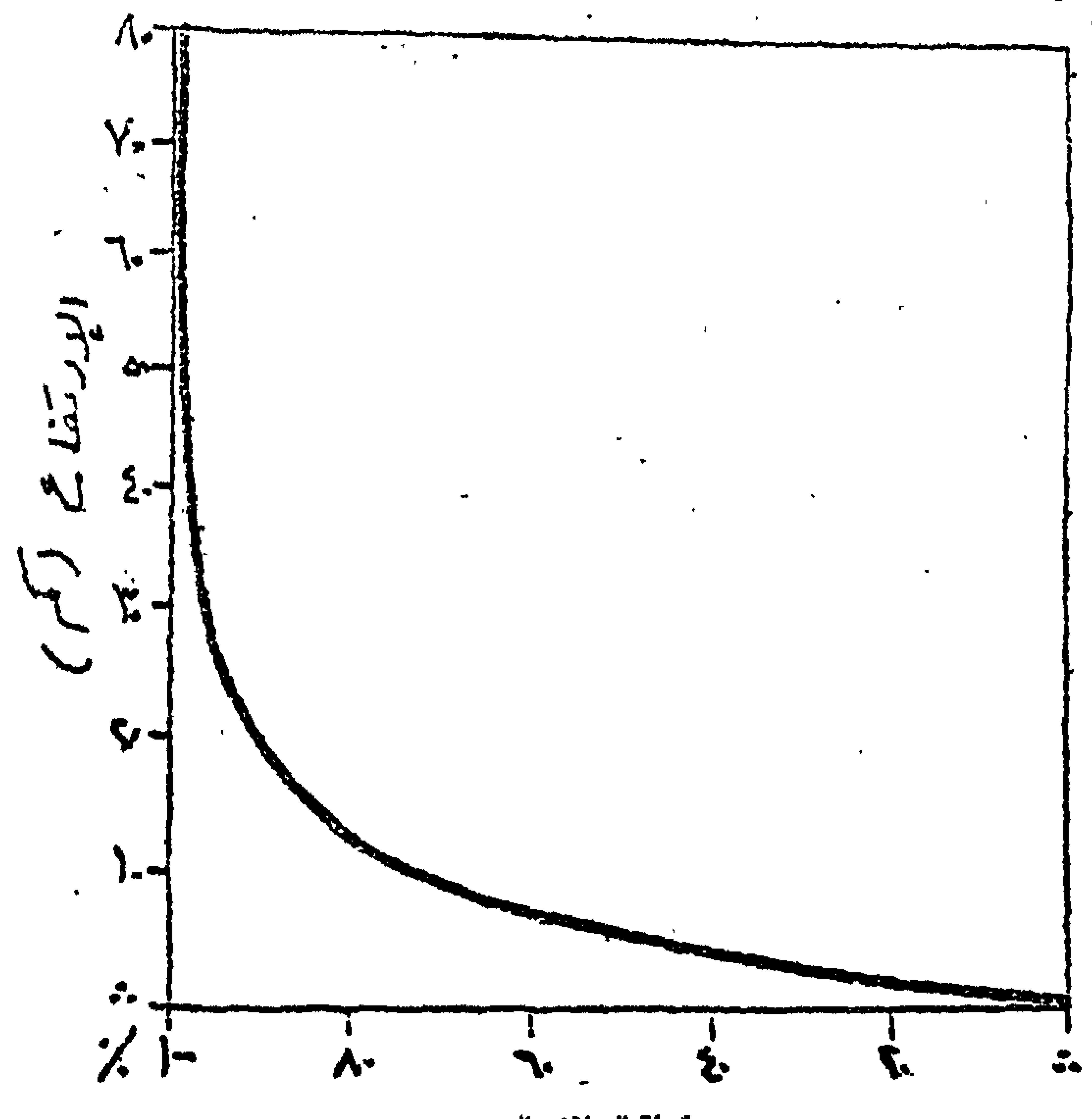
من حيث الكثافة :

تتميز هذه الطبقة بأنها أكثر طبقات الغلاف الجوى كثافة، ذلك لان الهواء قابل للانضغاط، لهذا فأن كثافة الطبقة السفلى من الغلاف الجوى الملامسة لسطح الارض لابد وأن تكون أكبر من كثافات الطبقات التى

تعلوها، لانها بطبيعة الحال واقعة تحت ثقلها وضغطها. وتتناقص كثافة الهواء فى طبقة التروبوسفير بمعدلات أسرع من تناقصها فى الطبقات الاعلى التى يتميز هواؤها بالتخلخل وانخفاض الكثافة.

وتبلغ كثافة الغلاف الجوى عند مستوى سطح البحر ١,٢٣ كيلو جرام فى المتر المكعب، وعند ارتفاع ٣كم تبلغ الكثافة ٠,٩٩ كلج/م٣، وعند ارتفاع ٥كم تبلغ ٠,٧٤ كلج/م٣، وعند ارتفاع ٧كم تبلغ ٠,٥٩ كلج/م٣ وعند ارتفاع ٩كم تبلغ ٠,٤٧، وعند ارتفاع١١ كم تبلغ ٠,٣٦، وعند ارتفاع ١٣كم تبلغ ٠,٢٧ ، وعند ارتفاع ١٥كم تبلغ ٠,٢٠، وعند ارتفاع ١٧كم تبلغ كثافة الغلاف الجوى ٠,١٤ كلج/م٣.

وقد تبين أن أكثر من ٥٠٪ من كتلة الغلاف الجوى توجد فى سمك مقداره نحو خمسة كيلومترات من سطح الارض، كما وتبلغ كتلة الغلاف الجوى الموجودة بين سطح الارض وارتفاع ١٢كم نحو ٨٤٪ من كتلته الكلية. وينتشر القسم المتبقى من الغلاف الجوى ومقداره نحو ١٩٪ فوق مستوى ١٢كم وحتى ارتفاع ٩٠٠٠كم، وعند هذا المستوى ينعدم الغلاف الجوى تماما.



شكل (٢٠) تناقص كتلة الغلاف الجوى بالارتفاع

هذا وتوجد الغازات الثقيلة فى المستويات السفلى من الغلاف الجوى، بينما توجد الغازات الخفيفة فى المستويات العليا. ولكن نظرا لما يحدث فى الغلاف الجوى من حركة واضطراب يتمثل فى تيارات هوائية أفقية. وأخرى رأسية صاعدة وهابطة، فان المزج والخلط يتم بين مختلف الغازات، فلا تظهر فروق كبيرة، خاصة فى سمك الغلاف الجوى المحصور بين سطح الارض وارتفاع ٥٠كم.

من حيث الضغط :

يعرف الضغط الجوى بأنه وزن عمود الهواء الواقع على وحدة مساحية معلومة على سطح الارض.

ويتناقص الضغط الجوى بالارتفاع عن سطح البحر لسببين :

١ـ تناقص طول عمود الهواء بالارتفاع

٢ ـ يتركز معظم الغازات الثقيلة والمواد العالقة فى الطبقات السفلى، وتقل بالارتفاع حتى تنعدم.

ويقل معدل انخفاض الضغط الجوى بالارتفاع، فهو يبدأ فى التناقص سريعا فى الطبقات السفلى، ثم يتباطأ بالارتفاع لتناقص كثافة الهواء لخفة الغازات وتخلخلها. ويبلغ الضغط الجوى القياسى فى الجهات المعتدلة ١٠١٣ ميلليبار عند مستوى سطح البحر، و٧٠١ ميلليبار عند ارتفاع ٣كم، ٥١٤ ميلليبار عند ارتفاع ٥كم، و٤١١ عند ارتفاع ٧كم، و٣٠٨ عند ارتفاع ٩كم، ٢٢٧ عند ارتفاع ١١كم، ١٦٦ عند ارتفاع ١٣كم، و١٢١ عند ارتفاع ١٥كم، و٨٩ ميلليبار عند ارتفاع ١٧كم.

من حيث الحرارة :

تتناقص درجة الحرارة بالارتفاع فى طبقة التروبوسفير، وذلك أمر طبيعى، لان الهواء لا يسخن من الاشعة الشمسية مباشرة ، وانما من ملامسته لسطح الارض ، فسطح الارض هو المصدر المباشر للتسخين

الغلاف الجوى ، ذلك أن غازى الاكسجين والنيتروجين اللذين يكونان أكثر من ٩٩ ٪من الغلاف الغازى ، يسمحان لاشعة الشمس بالمرور خلالهما دون عائق ، فتصل الى سطح الارض الذى يمتصها فيسخن ، ويصبح مصدر اشعاع حرارى يسمى «الاشعاع الارضى » وموجات الاشعاع الارضى طويلة ، ومن ثم يتمكن الهواء من امتصاصها فيسخن ، ومادام سطح الارض هو مصدر الحرارة لتسخين الجو ،فانه من الطبيعى أن تنخفض الحرارة بالتدريج بالارتفاع عن سطح الارض .

ولقد تحدث حالات شاذة فيها تزداد الحرارة بالارتفاع ، وتعرف بحالات الانقلاب الحرارى Temperature Inversion ، وذلك حينما تتهيأ ظروف جوية معلومة، مثلما يحدث فى بعض الليالى التى تتميز بصفاء السماء ، وانخفاض الرطوبة ، وهدوء الرياح ، أو عندما تزحف كتلة هوائية دافئة فوق سطح أرضى بارد ، ولكن القاعدة هى أن درجات الحرارة تتناقص بالارتفاع عن سطح البحر.

لكن هذا الاضطراد فى تناقص الحرارة بالارتفاع لا يحدث الا فى طبقة التروبوسفير ، وهى الطبقة السفلى من الغلاف الجوى التى سبق وذكرنا أنها أهم طبقات الغلاف الجوى ، ففيها تحدث كل الاضطرابات الجوية ، وهى أكثر طبقات الجو صلة وارتباطا بجميع مظاهر حياة الكائنات الحية على وجه الارض .

وقد أوضحت الدراسات والبيانات المتيورولوجية التى أمكن جمعها عن خصائص طبقات الجو العليا، عن طريق الاقمار الصناعية والبالونات وأجهزة الراديو سوند، أن تناقص الحرارة بالارتفاع خلال طبقات الجو العليا غير مضطرد، اذ يحدث العكس فى طبقة الاستراتوسفير Stratosphere أى تزداد الحرارة بالارتفاع خلالها بين ارتفاعى ١٠ ـ ٥٠ كم، ثم تعود فتأخذ فى الانخفاض التدريجى فى طبقة الميزوسفير Mesosphere بين ارتفاع ٥٠ – ٨٠كم، وتعود الحرارة للزيادة التدريجية مرة أخرى فى طبقة الثيرموسفيرThermosphere أعلى من ارتفاع ٨٠كم.

هذا وتبلغ درجة الحرارة القياسية Standard فى المنطقة المعتدلة عند منسوب البحر١٥ °م ، وعند ارتفاع ١كم نحو ٨,٥°م، وتبلغ درجة الحرارة ٢ °م عند ارتفاع ٢كم، ـ ٤,٥ °م على ارتفاع ٣كم، ـ ١٧,٥ °م على ارتفاع ٥كم، ـ ٣٠,٥ °م على ارتفاع ٧كم و ـ ٤٣,٤ °م على ارتفاع ٩كم، ـ ٥٦,٤ °م على ارتفاع ١١كم، ـ ٥٦,٥ °م على ارتفاع ١٣كم، ـ ٥٦,٥ °م على ارتفاع ١٥كم، ـ ٥٦,٥ °م على ارتفاع ١٧كم. ومن الواضح ثبات درجات الحرارة عند رجة ـ ٥٦,٥ °م ابتداء من ارتفاع ١٢كم، أى بانتهاء طبقة التروبوسفير والدخول فيما يعرف بالتربوبوزى Tropopause .

وتعد طبقة التروبوبوزى طبقة انتقالية بين طبقتى التروبوسفير أسفلها، وطبقة الاستراتوسفير أعلاها، وهى طبقة قليلة السمك نسبيا، ويتراوح ارتفاعها فوق المنطقة القطبية بين ٩ ـ ١٢كم، وتنخفض فيها درجة الحرارة لتصل الى حوالى ٥٠°م تحت الصفر المئوى. بينما يتراوح ارتفاع تلك الطبقة عند النطاق الاستوائى بين ١٦ ـ ١٧كم، وتهبط حرارتها الى ٧٠ °م تحت الصفر المئوى. وتمثل طبقة التروبوبوزى الحد الاعلى الذى يمكن أن تصل اليه حركة الجو واضطراباته الارضية النشأة.

وقد ثبت من مختلف الدراسات وجود صلة وثيقة بين هذه الطبقة الانتقالية وبين ظواهر الجو واضطراباته فى التربوسفير وقرب سطح الارض. ولهذا أصبح يرسم لها خرائط طقس يومية مفصلة، تظهر ما يحدث بها من تفاوت حرارى، وتبين مقدار ارتفاعها، وما بها من تموجات وثنيات. ومن تلك الظواهر يمكن التنبؤ بأحوال الجو على سطح الارض. فاذا ما انخفض مستوى طبقة التروبوزى، ونشأ مرتفع جوى (ضد اعصار) فوق المحيط الأطلسى، ومنخفض جوى (اعصار) فوق شمال شرق أوروبا، اجتاحت أوربا موجات برد شديدة. وحينما يظهر التروبوبوزى على هيئة حوض أو قاع Trough على خرائط الطقس، فان ذلك ينذر بقدوم أعاصير التيفونTyphone المدارية المدمرة. كما ويدل ارتفاع منسوب التروبوبوزى وانخفاض درجات حرارته على اقتراب كتل هوائية

دافئة من جزر اليابان.

طبقة الاستراتوسفير

توجد طبقة الاستراتوسفيرStratosphere فوق طبقة التروبوبوزى. ويبلغ ارتفاعها ٥٠كم من سطح البحر، وسمكها بالتالى بين ١٢ ـ ٥٠كم تقريبا. وتتميز بأن هواءها مخلخل، وكثافته منخفضة، وضغطه قليل. وفى هذه الطبقة تزداد درجة الحرارة بالارتفاع لدرجة أن حرارة الهواء على ارتفاع ٥٠كم، وهو حدها الاعلى، تساوى معدل درجة حرارة الجو على سطح الارض. ويرجع السبب فى تميز هذه الطبقة بهذه الصفة أن غاز الاوزون الذى يوجد بها فى طبقة تتمركز بين ارتفاعى ٣٠ ـ ٣٥كم يمتص أشعة الشمس فوق البنفسجية.

وكان يعتقد حتى وقت قريب أن حركة الهواء فى طبقة الاستراتوسفير قليلة، وكان جوها يشبه بالهواء الشتوى الراكد فى المناطق القطبية، لكن المعلومات الحديثة التى أمكن الحصول عليها بوسائل الرصد المطورة، قد أثبتت بما لا يدع مجالا للشك فى وجود رياح مختلفة الاتجاهات. وتتميز هذه الطبقة بخلوها من بخار الماء، وان كان مستواها السفلى يحوى قليلا منه.

ويفصل طبقة الاستراتوسفير عن الطبقة الجوية التى تعلوها والتى تعرف بطبقة الميزوسفير Mesosphere ، طبقة انتقالية تسمى استراتوبوزى Stratopause. وهى تعلو مستوى ٥٠كم، وتتميز بخصائص انتقالية بين الطبقتين الرئيسيتين فى أسفلها وفى أعلاها.

طبقة الميزوسفير

تعلو طبقة الاستراتوبوزى، وتمتد طبقة الميزوسفير بين منسوبى ٥٠ ـ ٨٠ كم من سطح البحر. وترتفع فى أسفلها درجة الحرارة قليلا ثم لا تلبث أن تنخفض تدريجيا بالارتفاع. ويتمثل مصدر حرارة الميزوسفير فى طبقة الاوزون الموجودة أسفلها بين ارتفاعى ٣٥ ـ ٥٠كم. ولهذا فانه

بالتوغل فى طبقة الميزوسفير الى أعلى ومن ثم الابتعاد عن طبقة الاوزون يؤدى الى تناقص درجة الحرارة.

ويعلو هذه الطبقة مباشرة طبقة انتقالية تعرف باسم ميزوبوزى Mesapause. وتؤثر أشعة الشمس فوق البنفسجية فى الهواء الخفيف الموجود فيها، وتؤدى الى شحنة كهربائية. والى هذه الطبقة يرجع الفضل فى حرق الشهب والنيازك التى تندفع الى الارض فتصل الى سطحها رمادا. ولعل احتراق الشهب والنيازك هنا هو السبب فى رفع درجة حرارتها وحرارة القسم الاسفل من طبقة الميزوسفير.

طبقة الايونوسفير

« الثرموسفير »

طبقة الايونوسفير Ionosphere أو طبقة الاثير، هى طبقة جوية متأينة. وتوجد ابتداء من ارتفاع ٨٠كم تقريبا فوق سطح البحر. وهواؤها مكون من غازات خفيفة جدا كالنيون والهليوم، لذلك فهو مخلخل جدا ومتأين، أى أن ذراته قد تحللت الى مركباتها الكهربائية (بروتونات ونيوترونات واليكترونات). وتزداد درجة تركيز الالكترونات فى مستويات معلومة داخل هذه الطبقة، فتعمل على انعكاس الموجات اللاسلكية الكهرومغناطيسية فترتد نحو الارض.

وتعرف هذه الطبقة أحيانا باسم طبقة الثرموسفير Thermosphere لان درجة الحرارة تزداد فيها بالارتفاع - والسبب فى ذلك يرجع الى أن تأين الهواء يعمل على رفع درجة حرارته. ولما كان تأين الهواء يزداد بالارتفاع فى تلك الطبقة، فان درجة الحرارة تزداد فيها بالارتفاع أيضاً، ويساعد على ارتفاع الحرارة عامل آخر هو قدرة هذا الهواء على امتصاص قدر من الاشعة فوق البنفسجية القصيرة الموجات. ويؤدى ارتفاع الحرارة فى هذه الطبقة الى صهر واحتراق بعض الشهب والنيازك التى تدخل جو الارض، وهذا بدوره يؤدى الى رفع حرارة تلك الطبقة .

ومن الظواهر الجوية التى تحدث فى هذه الطبقة العليا من الغلاف الجوى ظاهرة الشفق، وظاهرة الاورورا Aurora (كلمة لاتينية معناها الفجر) التى يطلق عليها أسماء عدة منها : الفجر القطبى أو الوهج القطبى أو أنوار الشمال Aurora Borialis **والفجر القطبى الجنوبى أو الاسترالى** Aurora Australis. وتشاهد هذه الظاهرة حسبما يبدو من الاسم فى المناطق القطبية والقريبة من القطبين. وتظهر للمشاهد بهيئة ستائر أو خيوط متلاصقة منيرة تتدلى فى اتجاه سطح الارض من ارتفاعات تعلو ١٠٠كم.

ويعزى سبب نشأة هذه الاضواء الى انطلاق كميات كبيرة من الكهارب أو الالكترونات من جسم الشمس، خاصة أثناء فترات زيادة نشاط **البقع الشمسية** (التى هى بمثابة عواصف كهربائية عنيفة فى جسم الشمس تبدو أكثر بريقا من بقية أجزائها)، وتصطدم تلك الالكترونات فى طريقها نحو الارض مع جزئيات هواء طبقة الايونوسفير. فيسفر هذا الاصطدام عن حدوث هذه الاضواء التى تعرف بالوهج القطبى. وقد يحدث أن تحترق بعض غازات طبقة الايونوسفير احتراقا ذاتيا فتؤدى الى تكوين ما يسمى **بالوهج الجوى** Air Glow.

هذا وتجدر الاشارة الى أن مثل هذه الظواهر الجوية ليس لها أى تأثير على ظواهر الجو فى طبقة التروبوسفير، وهى الطبقة السفلى من الغلاف الجوى. ونحن كجغرافيين تهمنا دراسة التغيرات التى تحدث فى التروبوسفير لما لها من ارتباط وثيق بحياة الكائنات على سطح الارض. ولهذا فان دراستنا لعناصر المناخ فى الفصول التالية تنصب على ظواهر الجو فى تلك الطبقة.

نشأة الغلاف الجوى وعوامل تلوثه

أصل نشأة الغلاف الجوى

لقد مر الغلاف الجوى فى عدة مراحل من التطور قبل أن يصل الى

تركيبه وخصائصه المميزة الحالية. فالارض حينما ولدت أصبح لها كيان مستقل منذ أكثر من خمسة مليارات سنة، كانت صغيرة الحجم نسبيا، ولم يكن لها غلاف جوى يحيط بها. وأخذ حجم الارض فى الكبر بورود أعداد لا حصر لها من الكويكبات واصطدامها بها أثناء مرحلة يمكن تسميتها مرحلة **ورود الكويكبات**. وحينما كبرت الارض، وأصبحت لها قوة جاذبية كافية، أخذت تجذب كميات من غازات فضاء المجموعة الشمسية وتأسرها وتحتفظ بها من حولها. وتلك هى الغازات الخفيفة **كالايدروجين والهيليوم** التى تتألف منها هوامش الغلاف الجوى الحالى العليا.

أما **المرحلة الثانية** المهمة فى تكوين الغلاف الجوى الحالى فهى مرحلة الثوران البركانى. وعن طريقه انبثقت معظم غازات الجو الحالى التى من أهمها : الامونيا، والميثان، وثانى أوكسيد الكربون، وبخار الماء المكون من النتروجين والاوكسجين. ومن المعروف الان أن مياه البحار والمحيطات هى مياه أصلية Juvinile Water ، انبثقت مع كتل الصهير من باطن الارض فى أثناء مراحل النشاط البركانى، التى لم تتوقف منذ ولادة الارض.

والمرحلة الثالثة : فى تكوين الغلاف الجوى الحالى بدأت مع تطور الحياة على سطح الارض، ودخول مزيد من الاوكسجين بكميات كبيرة، ذلك أن المصدر المهم للاوكسجين الجوى، هو تحلل المواد العضوية للكائنات الحية بعد موتها. ويرى بعض العلماء أن معظم الاوكسجين قد دخل غلافنا الجوى الحالى فى العصر الكربونى من أعصر الزمن الجيولوجى الاول، عندما بدأ تكوين رواسب الفحم ومكامن البترول فى مختلف أنحاء الارض.

ويحدث التوازن فى تركيب الغلاف الجوى على مر العصور عن طريق المصادر الاتية :

١ـ انبثاق الغازات وبخار الماء مع المصهورات البركانية.

٢ـ تحلل الكائنات الحية بعد موتها، واحتراق مواد الوقود.

٣ـ دورة النيتروجين فى النشاط الذى تقوم به البكتيريا فى التربة.

٤ـ عملية التمثيل الكلوروفيللى الذى يقوم بها النبات فى الضوء.

٥ـ عمليات تنفس الاحياء.

وظائف الغلاف الجوى

وقبل أن نعرض لدور الانسان فى التأثير فى تركيب الغلاف الجوى، يحسن أن نميز الوظائف الرئيسية التى تقوم بها الجو، والتى بدونها لا تستقيم الحياة على وجه الارض.

١ـ تنظيم درجة الحرارة على سطح الارض :

ينظم الغلاف الجوى وصول الاشعاع الشمسى الى سطح الارض، ويعرقل نفاذ الاشعاع الارضى بكامله الى الفضاء، فهو بذلك يقوم بدور هام وحيوى فى تنظيم درجات الحرارة بحيث تكون دواما ملائمة لحياة مخلوقات الله على سطح الارض. ولولا وجود الغلاف الجوى لارتفعت حرارة النهار الى ما فوق ١٠٠ °م، ولهبطت أثناء الليل الى مادون الصفر بنفس القدر (أكثر من ١٠٠ °م تحت الصفر)، ولأصبح المدى الحرارى اليومى أكثر من ٢٠٠ °، ولاستحالت الحياة على سطح الارض. ولكن مع وجود الغلاف الجوى بخصائصه المذكورة، صار المعدل الحرارى اليومى للجو الملامس لسطح الارض نحو ١٥ °م. وهو مقدار مناسب جدا لحياة الكائنات.

٢ـ توزيع ونشر الطاقة الحرارية على سطح الارض :

يصل النطاق المدارى من سطح الارض مقدار عظيم من الاشعاع الشمسى العمودى، ومن ثم ترتفع حرارته ارتفاعا عظيما، بينما لا ينال النطاق القطبى فى الشمال وفى الجنوب منه سوى القليل. ولولا الحركة

فى الغلاف الجوى التى تنقل الطاقة وتوزعها على جميع سطح الارض لاستحالت الحياة فى النطاق المدارى لشدة حرارته، وفى النطاقات القطبية لشدة برودتها.

٣- توزيع ونشر بخار الماء فى الطبقة المحيطة بالأرض :

المسطحات المائية هى المصدر الرئيسى لبخار الماء، خاصة ما يقع منها فى المناطق المدارية. فقد قدر ما يتبخر منها ويدخل الغلاف الجوى نحو ٨٦٪ من جملة بخار الماء فيه. ولولا حركة الهواء لتركز المطر فى ذات النطاق، ولحرمت منه بقية سطح الارض. فالغلاف الجوى ينقل بخار الماء من فوق المسطحات المائية الى الاراضى اليابسة حيث تعيش الكائنات الحية معيشة دائمة.

عوامل تلوث الغلاف الجوى وكوارث التلوث

ظل الغلاف الجوى متوازنا بصورة طبيعية حتى بداية الثورة الصناعية فى أوروبا، وانتشارها بعد ذلك فى جميع أنحاء المعمورة، ومن ثم بدأت تدخل تغيرات سريعة فى تركيب الغلاف الجوى، لابد وأن تكون ذات آثار مناخية عالمية، ناهيك عن عوامل التلوث المحلى ذات الاثر المباشر فى صحة الاحياء فى بقاع معلومة.

ويصيب التغير فى الغلاف الجوى نواحى عدة، منها زيادة نسبة غاز ثانى أوكسيد الكربون، وانقاص نسبة غازات أخرى كالاوكسجين والاوزون. وقد عمل الانسان أيضا على زيادة نسبة المواد العالقة بالجو، كما أسهم بادخال عناصر غريبة فى تركيبه مثل بعض العناصر المشعة.

زيادة نسبة ثانى أوكسيد الكربون وأثرها فى المناخ العالمى :

سبق أن ذكرنا أن الغلاف الجوى يحوى نسبة من ثانى أوكسيد الكربون تقدر بنحو ٠,٠٣٪ ورغم أن ثانى أوكسيد الكربون من غازات الجو ذات النسب الثابتة، فانه من المؤكد أنها ازدادت بشكل ملحوظ منذ بداية الثورة الصناعية، والافراط فى استخدام الفحم لتوليد الطاقة، وما

ينشأ عن ذلك من اطلاق كميات هائلة من غاز ثانى أوكسيد الكربون. ويرى بعض العلماء أن ثانى أوكسيد الكربون قد ازداد بنسبة مقدارها ١٠٪ مما كانت عليه قبل بداية الثورة الصناعية، ويقدر آخرون أن نسبة هذا الغاز قد ارتفعت من ٢٩٠ جزء فى المليون قبل القرن التاسع عشر الى نحو ٣٢٠ جزء فى المليون فى خمسينيات هذا القرن، ويتوقعون لهذه النسبة أن تبلغ ٤٠٠ جزء فى المليون عند نهاية هذا القرن العشرين.

وينبغى أن نشير الى أن الارتفاع فى نسبة ثانى أوكسيد الكربون لا تقتصر على المدن الصناعية دون غيرها من المدن، ودون الريف، فهى ظاهرة تشمل الغلاف الجوى كله، فالجو قادر على الخلط والمزج، والنشر والتوزيع كما أسلفنا.

ويحدث التوازن بصورة طبيعية بين العوامل التي تبنى ثانى أوكسيد الكربون والعوامل التى تقوم بالتخلص منه. ذلك أن التنفس وحرق العضويات يؤدى الى بنائه، بينما تعمل التفاعلات الكيموضوئية التى تحدث فى طبقات الجو العليا على التخلص من بعضه، اضافة الى أن النباتات تستهلك قسما كبيرا منه فى عملية التمثيل الكلوروفيللى. كما أن مياه البحار والمحيطات تذيب جزء منه، وتزداد قابلية اذابته بتلك المياه كلما انخفضت درجات حرارتها. ولكن تدخل الانسان منذ بداية الثورة الصناعية كان ومايزال العامل المهم فى بناء **الزيادة التى باتت خطيرة على المناخ العالمى بعامة، وعلى صحة الاحياء بخاصة.**

اثر الزيادة فى نسبة ثانى أوكسيد الكربون على المناخ

يتضح أثر الزيادة الملحوظة في نسبة ثانى أوكسيد الكربون على المناخ، عن طريق تأثيرها على التوازن الاشعاعى للارض. ذلك أن ثانى أوكسيد الكربون يمتص قسما من الاشعاع الحرارى الارضى، ومن ثم يحفظه فى المستوى السفلى من التروبوسفير الملامس لسطح الارض. وتبعا لذلك ترتفع حرارة هذا المستوى، مما يؤدى الى صهر قسم من

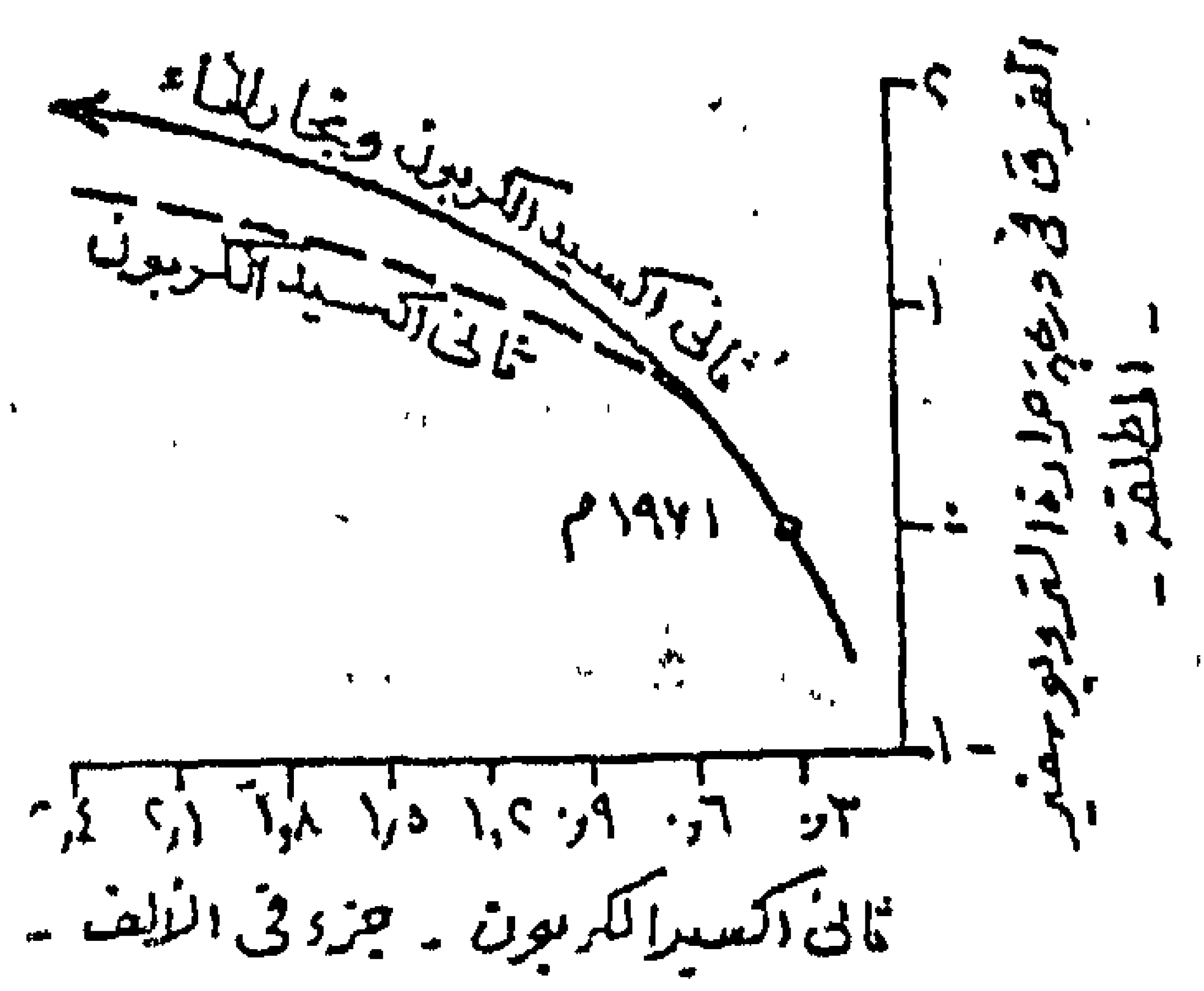
الجليد المتراكم فى المناطق القطبية، خاصة جليد أنتاركتيكا وجليد جرينلندا، اضافة الى جليد القلنسوات الجليدية فوق ذرى الجبال. وقد سجل بالفعل تناقص فى سمك الجليد، وانكماش فى هوامشه، كما لوحظ تراجع الجليد فى أودية الالب والهيمالايا والروكى منذ بداية القرن العشرين.

ولا شك أن إنصهار الجليد وانصباب مياهه فى البحر يؤدى الى نتائج لها خطورتها على الحياة والاحياء. فارتفاع منسوب البحار والمحيطات يعنى طغيان مياهها على السواحل المنخفضة المأهولة بالسكان كأراضى هولندا فى دلتا الراين، وأراضى مصر فى دلتا النيل، أضف الى ذلك التآكل والنحر الذى باتت تعانى منه سواحل كثير من الدول.

ولقد تعددت الآراء المبنية على دراسات وأبحاث مستفيضة فيما يخص آثار ارتفاع نسبة ثانى أوكسيد الكربون على رفع درجة حرارة الجو المحيط بسطح الارض. من تلك الآراء المهمة ما يلى :

١ - رأى راسول وشنايدر Rasool and Schneider

يرى هذان العالمان (١٩٧١ صفحات ١٣٧ - ١٤٢) أنه لو بلغت نسبة ثانى أوكسيد الكربون فى الجو عشرة أمثال نسبته الحالية، فان درجة حرارة الجو لن ترتفع الى أكثر من ٢,٥ °م. معنى ذلك أن أثر زيادة نسبة ثانى أوكسيد الكربون فى الجو على رفع درجة حرارة الهواء تتناقص تدريجيا بعد أن تصل نسبة ذلك الغاز فى الجو حدا معلوما.



شكل (٢١) تغير درجة حرارة التروبوسفير مع زيادة نسبة ثانى اوكسيد الكربون فى الغلاف الجوى

٣ـ رأى ماناب وويذيرالد Manabe and Wetherald

يريان أن الارتفاع فى درجة حرارة الجو بتأثير الارتفاع فى نسبة ثانى أوكسيد الكربون في الجو، ستكون أكثر وضوحا فى المناطق القطبية منها فى النطاقات المدارية. ويعتقدان أن درجة حرارة الاراضى الواقعة ضمن دائرة العرض ٨٠ ° شمالاً سترتفع عشر درجات مئوية (١٩٧٥ صفحات ٣ ـ ١٥). ولو صح هذا الرأى لأدى فى المستقبل الى طغيان مياه البحر العالمى على أراضى ساحلية عظيمة المساحة، ولتغيرت نسبة توزيع اليابس والماء تغيرا كبيرا، يعود بها الى الوضع فى أواخر الزمن الثالث وبداية الزمن الرابع، حينما كان اليابس يخلو من الجليد، وكان منسوب مياه البحار والمحيطات فوق منسوبها الحالى بنحو ١٠٠ متر.

ويرد على هذا الرأى الباحث شنايدر Schneider (١٩٧٥) فيقول بأن ارتفاع درجة الحرارة يعنى زيادة نشاط الدورة الهيدرولوجية وارتفاع معدلات التبخر، مما يؤدى الى زيادة نسبة التغيم، ويرى أنه لو ارتفعت نسبة تغيم السماء بمقدار ٢,٤٪ ، فان هذه النسبة كفيلة باهدار أى أثر لزيادة نسبة ثانى أوكسيد الكربون فى الجو.

أثر الزيادة فى نسبة المواد العالقة فى الجو على المناخ

رأينا كيف دلل البحاث على ارتفاع درجة الحرارة خصوصا فى النصف الاول من هذا القرن العشرين، معللين لذلك بزيادة نسبة ثانى أوكسيد الكربون فى الجو. وعلى العكس من ذلك يرى جانب من العلماء أن درجات الحرارة ابتداء من الخمسينيات (أى منتصف هذا القرن العشرين) قد توقفت عن الارتفاع، بل انها آخذة فى التناقص التدريجى **وينذرون بأن العالم مقبل على دور جليدى خامس، لو اضطرد الهبوط فى درجات الحرارة** (Kellog, W. 1977, 1978). **ويرجعون هذه الظاهرة الى زيادة نسبة المواد العالقة فى الجو من مختلف المصادر التى سبق أن أشرنا اليها.**

ومعلوم أن زيادة نسبة المواد العالقة يعنى زيادة فى نسبة ما تعكسه من اشعاع شمسى ورده الى الفضاء وحرمان جو الارض السفلى منه، فضلا عن زيادة ما تمتصه من اشعاع (Braslaw, N. 1973) ومعلوم أن المواد العالقة فى الغلاف الجوى تعكس ما بين ١ ـ ٢٪ من أشعة الشمس وتمتص نحو ٥٪ منها، وأكثر المواد العالقة فاعلية فى توزيع ونشر الاشعة الشمسية هى التى تتراوح أقطارها بين ٠,١ ـ ٠,٤ ميكرون.

وفضلا عن ذلك فان زيادة المواد العالقة فى الجو يساعد على سرعة تكوين السحب، لان بخار الماء يتكاثف حولها، وتبعا لذلك يحجب الاشعاع الشمسى ويزداد معدل انعكاسه، وتتناقص نسبة ما يصل منه الى سطح الارض. ويقدر العلماء (Rasool and Schneider 1971) أن نسبة المواد العالقة قد تضاعفت فى الغلاف الجوى خلال نصف القرن الاخير.

تلوث طبقة الاوزون واثره على المناخ

رأينا أهمية غاز الاوزون الذى يوجد فيما بين ارتفاعى ٣٠ ـ ٣٥ كم ضمن طبقة الاستراتوسفير، فى رفع درجة حرارة تلك الطبقة، لانه يمتص أشعة الشمس فوق البنفسجية. وبامتصاصه تلك الاشعة يقى الاحياء على سطح الارض من اخطارها. **ولا شك أن تغيير تركيب تلك الطبقة التى تدعى أحيانا بطبقة الاوزونوسفير يخلق مشاكل للاحياء من جهة، ويؤثر على ظروف المناخ فى طبقة التروبوسفير من جهة أخرى.**

ولقد لحق التلوث هذه الطبقة، رغم ارتفاعها، نتيجة لما تنفثه محركات الطائرات النفاثة العملاقة التى تحلق فيها من غازات ونفايات وبخار ماء، تبقى جميعا عالقة بتلك الطبقة سنوات طويلة. وقد قدر مقدار ما تنفثه تلك الطائرات كل ساعة فى طبقة الاوزونوسفير ما يزيد على مائة طن من بخار الماء، ونحو ثمانين طنا من غاز ثانى أوكسيد الكربون، وعدة أطنان من أول أوكسيد الكربون وأكاسيد النيترات (Mc Elroy 1974 & Ne-well 1980).

وقــدّر أحــد الـعـلـمــاء (Nuessle 1980) أن نســــبــة بــخـــار الماء فى الاسـتـراتـوسـفـيـر سـتـرتـفـع مـن جـزء فى المليون، الى ٥ جـزء فى المليون نتيجة لطـيـران ٥٠٠ طـائـرة نفاثة يـومـيا فى تلك الطبـقة فـيـمـا بـيــن دائـرتـى عـرض ٤٥ ـ ٦٠ ° شــمـالاً. وهـذا سـيـؤدى الى تـنـاقـص مـلـحـوظ فى نسـبـة الاوزون، والى زيادة كبـيـرة فى نسـبة التغيم وتكوين الســحـب، والى ارتفاع فى درجة حــرارة الاسـتــراتـوسـفـيـر يـصـل ١,٥ °م ، بـيـنـمــا تـهـبـط درجـة حــرارة التروبوسفير بمعدل ٠,٦ °م .

ويلوث طبقة الاوزون التفـجيرات الذرية التى تجريها الـدول الكبرى. فلقد استقر الكثير من الاشعاعات النووية فى تلك الطبقة منذ تفجير أولى القنابل الذرية على مدينتى هـيـروشـيـمـا ونجازاكى اليابانيتين فى أواخـر الحرب العالمية الثانية عام ١٩٤٥.

الانقلاب الحرارى وعلاقته بتلوث الجو وكوارثه

القـاعـدة الـعـامـة أن درجـات الـحـرارة تـتـنـاقـص بالارتفـاع عن منسـوب سطح البـحـر، لـكن يـحـدث أحـيـانا أن تزداد الـحـرارة بالارتـفـاع فى الغـلاف الجوى. وتعـرف هـذه الظاهـرة بالانقلاب الحرارى. وتـتم فى سـمك من الجو لا يـتـعـدى ارتفـاعـه كـيلو مـتـرا واحـدا فى مـعظم الاحـوال، ثم يظهـر أعـلاه التناقص الحرارى العادى بالارتفاع. ويكثـر حدوث الانقلاب الحرارى عندما يكون سطح الارض أبرد من الهـواء الذى يعلوه مـباشـرة، فـتـنـتـقل الحـرارة بالتــوصــيل مـنـه الى سـطح الارض البـــارد. والانـقــلاب الـحــرارى مـــتـنـوع لاختلاف أسباب النشأة.

ويهمنا هنا أن نوضح العلاقة بين الانقلاب الحرارى وانتشار التلوث فى الجو من عوادم المصانع والمعامل ووسائل النقل. ذلـك أن الانقلاب الحرارى يـضـع حدا لطبـقـة دافـئـة مـسـتـقـرة قليلة الـسـمك (واحـد كيلو متر) ينتشر فيها الدخان فيؤثر تأثيرا ضارا على البيئة المحلية. وعادة ما يتـخلص الجو من مواد التلوث بنشـرها فى كل اتجاه، ثم يتـخلص منها

عن طريق التساقط مع المطر أو الثلج. لكن يحدث أحيانا أن يتكون انقلاب حرارى ويستقر الجو مدة تدوم بضعة أيام، كما حدث فى جو مدينة لندن فى شهر يناير من عام ١٩٥٢، **حين أدى ارتفاع تلوث جو المدينة خلال أسبوع كامل، الى وفاة حوالى أربعة آلاف نسمة، كما توفى بسبب أمراض التلوث نحو ثمانية آلاف نسمة فى خلال الشهرين التاليين.** بالاضافة إلى إصابة نحو مائة ألف شخص بأضرار بالغة فى الجهاز التنفسى. وحدثت هذه الظاهرة مرة أخرى فى لندن عام ١٩٥٦، وذهب ضحيتها أكثر من ألف شخص. وتكررت الظاهرة فى مدينة نيويورك ثلاث مرات، فى أعوام ١٩٥٣، ١٩٦٣، ١٩٧٠، وكذلك فى مدينة طوكيو عام ١٩٧٠.

الأمطار الحمضية

سُمّيتْ بهذا الإسم بسبب استمرار زيادة نسبة الحموضة فى المطر الساقط على بعض المناطق، وبوجه خاص فوق أقاليم الصناعة. ففى النصف الثانى من هذا القرن العشرين، اضمحل الأُسُّ الهيدروجين (PH) للأمطار إلى الرقم (٤)، وهو للمطر العادى يبلغ (٥,٦). واضمحلال الأسّ يجعل مياه المطر عالية الحموضة، عظيمة الخطر على النبات والحيوان والإنسان. ولقد هبط الأسّ إلى أدنى مستوى وهو (٢) فى ولاية ڤيرجينيا بالولايات المتحدة الأمريكية عام ١٩٧٨. ومن ثمّ تعاظم حموضة المطر الساقط بشكل مؤذ وضار. لا للتربة الزراعية وحدها، وإنما للتوازن البيئى الطبيعى بعامة.

والصلة واضحة بين ما ينبعث من مداخن المصانع من غازات ضارة وامتصاص بخار الماء الموجود فى الجو لها. وهناك نطاق صناعى ضخم يمتد من انجلترا، عبر شمال فرنسا، وعلى امتداد نهر الراين، فنهر الدانوب، ووسط أوروبا بوجه عام، والصناعة فيه قائمة على قوى الفجر والبترول، وكلها مصادر قوى تنبعث منها غازات كربونية وكبريتية ونيتروجينية... إضافة إلى الكلور السام، وعلى الرغم من أن دول شمال أوروبا تستخدم الكهرباء المائية فى الصناعة كالسويد والنرويج وفنلندا، فإن دائرة الأمطار الحمضية التى تصدر من الإقليم الصناعى الآنف الذكر، تتسع لتشمل هذه الدول أيضا، حتى ليقال إلى أربعة

أخماس الأمطار الساقطة على النرويج أمطار حمضية، والسبب فى ذلك، هبوب الرياح الغربية الدائم، واتجاهها فى نصف الكرة الشمالى، أى على أوروبا، جنوبيا غربيا شماليا شرقيا، وبالتالى تساعد على نشر الغازات فوق ربوع القارة، وتسبب فى سقوط الأمطار الحمضية.

وقد اتضح من مختلف الأبحاث أن رواسب الكبريت الناشئة عن الأمطار الحمضية تبلغ نحو ١٥٠ كيلو جرام لكل هكتار فى منطقة «الرور» الصناعية بألمانيا، وحوالى ٦٠ كيلو جرام لكل هكتار فى باقى أراضى الدولة. وقد وجد أن المحتوى الكبريتى فى أمطار أوروبا يتضاعف كل ربع قرن مرة .

ولا يقتصر الأثر الضار للأمطار الحمضية على قارة أوروبا، وإنما يتعداها إلى شرق آسيا الصناعى : اليابان، كوريا، الصين، تايوان، وإلى شمال شرق الولايات المتحدة الأمريكية حيث الإقليم الصناعى الضخم فى ولايات نيو إنجلايد وحوض نهر «أوهايو» Ohio، وتأثير هذا الإقليم العظيم على ما يجاوره من أراضى الولايات «نيوانجلاند» وحوض نهر « أوهايو Ohio » ، وتأثير هذا الإقليم العظيم على ما يجاوره من أراضى الولايات المتحدة وكندا.

والأمطار الحمضية تسبب الأذى للتربة، وللمحاصيل الزراعية، وللمسطحات المائية، وحتى للمياه الباطنية، بواسطة ما يتسرب منها ويصل إلى مستوى الماء الأرضى، وتتسبب فى موت الطيور، ولها آثار سيئة على صحة الإنسان بما تحمله من غازات تسبب أمراض الجهاز التنفسى وأمراض الحساسية.

الفصل الرابع

مناطق الاضطراب والحركة فى الغلاف الجوى والكوارث التى تنشأ بسببها

تتمثل مناطق الاضطراب والحركة فى الغلاف الجوى فيما يلى :

١ـ الكتل الهوائية Air Masses

٢ـ الجبهات والمنخفضات الجوية Front and Depressions

٣ـ الاعاصير المدارية Tropical Cyclones

٤ـ العواصف الرعدية Thunderstorms

٥ـ المرتفعات الجوية أو أضداد الاعاصير Anticyclones

ولا شك أن وجود هذه المناطق يمثل اخلالا بالتوازن الديناميكى فى الجو، فالتباين فى الضغط يؤدى الى انتقال الهواء من مكان الى أخر، والى احداث الاضطراب والتغير فى أحوال الجو. ولا تدوم هذه المناطق طويلا، فلا يلبث الغلاف الجوى أن يتمكن من القضاء عليها ويعود الى حالة التوازن. لكن مناطق اضطراب جديدة لا تلبث أن تتولد وتتكون. ولهذا فان الطقس والمناخ ما هما الا نتيجة لتوالى تكوين مناطق الاضطراب والحركة فى الغلاف الجوى.

وفيما يلى دراسة لكل منها على حدة :

الكتل الهوائية

الكتلة الهوائية هى جرم ضخم من هواء تغطى سطح منطقة واسعة من مسطح مائى أو يابس، ويتميز هواؤها بالتجانس فى خصائصه المناخية، وذلك فى مستويات أو قطاعات الكتلة الافقية، خاصة فى درجة الحرارة ومعدل تناقصها بالارتفاع والرطوبة وكمية السحب ونوعها ومدى الرؤية. ويكون التجانس أكثر وضوحا فى الطبقات العليا من الكتله الهوائية

لانها تستمد خصائصها من طبيعة السطح الذى تتكون عليه، ولذلك فان طبقاتها السفلى تتأثر بالاختلافات المحلية على السطح.

ولكى تنشأ الكتلة الهوائية وتصبح متجانسة لابد أن يستقر الهواء فوق مساحة واسعة من سطح متجانس مدة طويلة تكفى لان يكتسب الخصائص والمميزات المناخية لذلك السطح، وينبغى أن تخلو تلك المدة من حدوث أية تقلبات جوية. ولهذا فان المناطق الجبلية والاراضى المضرسة الوعرة والاحواض الصغيرة والاقاليم الساحلية لا تصلح لتكوين الكتل الهوائية. بينما يناسب تكوينها المناطق القطبية الواسعة، حيث يظل الهواء ساكنا مستقرا عدة أسابيع. كما تنشأ الكتل الهوائية فوق المسطحات المائية الواسعة، والسهول المنبسطة الفسيحة مثل سهول سيبيريا وكندا فى الشتاء، ومناطق الضغط المرتفع المدارية أو مناطق تفرق الرياح السطحية التى تتميز بهواء هابط ورياح معتدلة القوة. أما مناطق التقاء الرياح فلا تصلح لتكوين كتل هوائية متجانسة، وذلك لانه تتجمع فيها أهوية ذات خصائص متباينة، ويصاحبها تيارات هوائية صاعدة.

وبناء على ما سبق يمكننا تمييز ثلاثة أنماط من الاقاليم تبعا لتأثرها بالكتل الهوائية هى :

١ـ نمط من الاقاليم يتأثر بنوع واحد من الكتل الهوائية هى الكتل الهوائية القطبية القارية، وتتمثل فى سيبيريا والقسم الشمالى من أمريكا الشمالية، والاقليمان أهم موطنين لنشأة هذا النمط من الكتل الهوائية الباردة الجافة.

٢ـ نمط من الاقاليم يتأثر بنوعين من الكتل الهوائية يسود أحدهما صيفاً، ويشيع الثانى شتاء. وخير مثال لهذا النمط جنوب شرقى آسيا وجنوبيها، ففى الصيف تسودهما كتل هوائية بحرية حارة، وفى الشتاء يتعرضان لكتل هوائية قارية باردة .

٣ـ نمط من الاقاليم يمثله اقليم غرب أوربا يتعرض لانواع متعددة من

الكتل الهوائية المتباينة الخصائص طوال العام، مما يجعل أحوال الطقس فيه مضطربة شديدة التغير.

تغير خصائص الكتل الهوائية :

تبقى خصائص الكتل الهوائية دون تغيير ما دامت مستقرة فى مواطن نشأتها، وهذا لا يدوم طويلا، اذ سرعان ما يحدث تغير فى توزيع الضغط الجوى فى الاقاليم المحيطة، فتبدأ فى التحرك من مواضعها وتنتقل كلها أو أجزاء منها الى مسافات كبيرة تصل الى آلاف الكيلو مترات فى كثير من الاحايين، وهى تنقل معها عبر تلك المناطق، التى تمر عليها جميع خصائصها المناخية، فتتأثر بها. مثال ذلك غرب أوربا الذى تنخفض به درجة الحرارة أحيانا الى ما دون درجة التجمد عندما يتعرض لكتل هوائية قطبية باردة ترد اليه من سيبيريا، وترتفع درجة حرارته عندما تصل اليه من الجنوب كتل هوائية مدارية دافئة.

وحين تنتقل الكتل الهوائية من مصادرها الاصلية فانها تتأثر بالخصائص المناخية للمناطق التى تمر عليها خصوصا فى طبقاتها السفلى، ويزداد هذا التأثر كلما كان الاختلاف كبيرا بين خصائص كل منهما. ويتوقف مدى التأثر بصفة عامة على عدة عوامل منها حجم الكتلة الهوائية، فاذا كان ضخما، كان التغير بطيئا. وتفقد الكتل الهوائية الواقعة ضمن مناطق تجمع الرياح مميزاتها الرئيسية بسرعة.

وتنشأ التغيرات بفعل تبادل الحرارة والرطوبة بين الكتل الهوائية والمناطق التى تمر بها، فحينما تمر على سطح أدفأ منها فان أجزاءها السفلى تكتسب بعضا من حرارته وتصبح غير مستقرة، واذا مرت على سطح أبرد منها فقدت قسما من حرارتها. واذا مرت كتلة جافة على سطح مائى دافىء فان رطوبتها تزداد. ومن هذا نرى أن التغيرات الحرارية الحركية (الثيرموديناميكية) التى تحدث فى الكتل الهوائية تنشأ نتيجة لمرورها على مناطق باردة أو حارة، وعن التبخر من المسطحات المائية

الواسعة وعن التكاثف والتساقط من الكتلة نفسها.

ويحدث التغير فى الكتل الهوائية ديناميكيا (حركيا) نتيجة للتغير فى الضغط الجوى وحركة الرياح. ويزداد التغير ويعظم حينما تكون الكتلة واقعة ضمن مناطق تجمع للرياح، ذلك أن ارتفاع الهواء الى أعلى يؤدى الى تغير فى درجات حرارته. أما اذا كانت الكتل واقعة ضمن مناطق تفرق رياح، فان ذلك يساعد على استقرارها.

أنواع الكتل الهوائية

تقسم الكتل الهوائية الى أنواع حسب المناطق (دوائر العرض) التى تنشأ بها، وتبعا لطبيعة السطح الذى تتكون فوقه، يابسا يكون أو ماء، ويرمز لكل منها برمزين، يدل أحدهما على منطقة النشأة، ويدل الثانى على طبيعة السطح. وفيما يلى أهم هذه الأنواع برموزها :

أولاً : كتل هوائية قطبية Polar ، ويرمز لها بالحرف الاول من الكلمة (P) وهى الكتل التى تنشأ فى المناطق القطبية وفى العروض العليا المجاورة للقطبين فى الفصل الطويل البارد من السنة.

وهى نوعان :

١ـ كتل هوائية قطبية قارية Continental ورمزها (cP) ، وهى تنشأ كما يدل الاسم فوق يابس القارات. ولهذا فانها تكون شديدة البرودة. ويرمز لهذه الصفة بالحرف (K) وهو أول حروف الكلمة الالمانية Kalt ومعناها بارد. ومن ثم يصبح رمز الكتل الهوائية القطبية القارية الباردة هو (cPK) . وهى كتل جافة بطبيعة الحال. وأهم مناطق نشأتها سهول سيبيريا وجزيرة جرينلندا وسهول كندا، والمناطق المتجمدة حول القطبين.

٢ـ كتل هوائية قطبية بحرية Maritime ورمزها (mP) وهى تنشأ فوق المسطحات المحيطية فى العروض العليا أو قد تنشأ على اليابس القطبى وما جاوره ثم تنتقل الى المحيطات المجاورة. وأكثرها تأثيرا ما

يتكون فوق شمال كل من المحيطين الاطلسى الشمالى والهادى الشمالى. فالكتل الهوائية القطبية فوق شمال الاطلسى تتكون فوق جرينلندا وسهول كندا ثم تتحرك الى شمال الاطلسى. وهواء هذه الكتل بارد K ، ومن ثم يرمز لها بجميع خصائصها بالرمز (mPK) وهى كتل رطبة تسبب سقوط الامطار.

ثانياً : كتل هوائية مدارية Tropical ويرمز لها بالحرف الاول من الكلمة (T) وتتكون فى مناطق الضغط المرتفع المدارية والمعروفة بعروض الخيل، وهى عموما حارة الى دافئة.

وهى نوعان :

١ـ كتل هوائية مدارية قارية (cT) وتتكون فى فصل الشتاء فوق صحارى شمال افريقيا وشبه جزيرة العرب، وهى باردة نسبيا (cTK) أما فى الصيف فتكون حارة (cTW) ومتربة. وهى جافة فى جميع الاحوال.

٢ـ كتل هوائية مدارية بحرية (mT) وتتكون فوق المحيطات فى مناطق الضغط المرتفع المدارى، وهى دافئة بصفة عامة (mTW) ورطوبتها مرتفعة.

استقرار واضطراب الكتل الهوائية

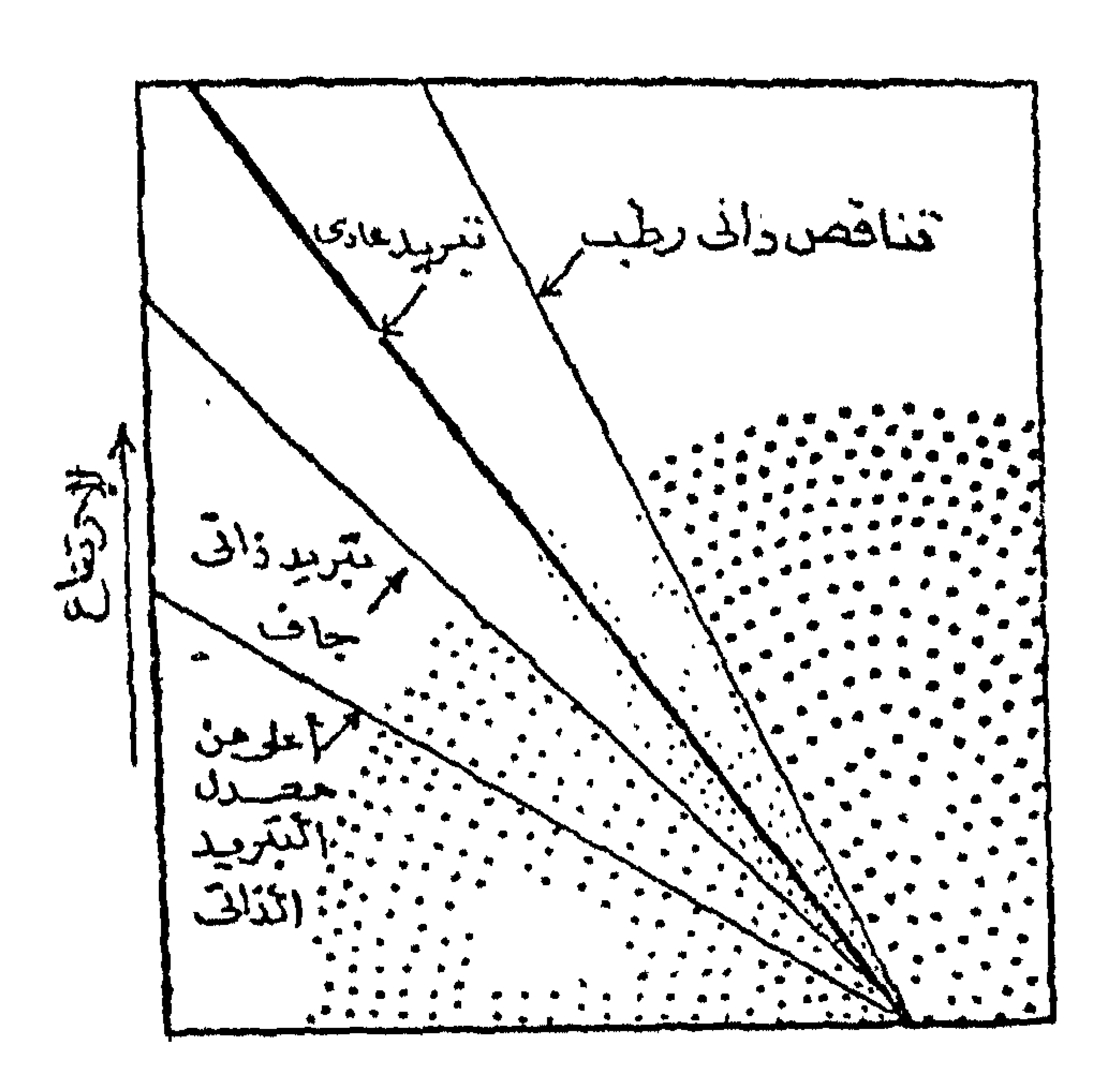
أشرنا فى الصفحات السابقة الى تحرك وانتقال الكتل الهوائية من مواطن نشأتها الى مناطق أخرى تبعا للتغير فى توزيع الضغط الجوى. ورأينا أن خصائصها تتغير خصوصا فى طبقاتها السفلى اذا ما تحركت الى أقاليم تختلف عنها فى مميزاتها المناخية اختلافا كبيرا.

ويمكن تمييز صنفين من الكتل الهوائية من حيث الاستقرار أو عدمه هما :

١ ـ كتل هوائية مستقرة Stable :

وهى الكتل الهوائية الدافئة التى تستقر أو تتحرك فوق سطح تكون حرارته أقل من حرارتها. وبالتالى تبرد طبقاتها السفلى، وتظل ثابتة

مستقرة فوق السطح، فلا يحدث أى اضطراب فى هوائها. وتوصف حينئذ بالاستقرار Stability ويرمز لها بالحرف (s) ،ويصاحبها تكون الضباب والسحب الطبقية، وقد تسقط الامطار الخفيفة اذا ما توفرت الرطوبة فى هوائها. ومن أمثلتها الكتل الهوائية المدارية التى تتحرك فى اتجاه القطبين.



شكل (٢٢) العلاقة بين معدل تناقص الحرارة بالارتفاع وعدم استقرار الهواء

٢- كتل هوائية غير مستقرة

وهى الكتل التى تتحرك أو تثبت فوق سطح أدفأ منها. وتبعا لذلك تنشأ بها تيارات هوائية صاعدة تؤدى الى احداث اضطرابات تتباين فى شدتها حسب مدى الفروق الحرارية بين حرارة سطح الارض وهواء الكتلة التى تستقر أو تتحرك فوقه. وتوصف الكتلة عندئذ بأنها غير مستقرة Unstable ويرمز لها بالحرف (U) ويصحبها طقس مضطرب، فيه تتكون سحب ركامية. وتنشأ عواصف ممطرة اذا ما كان هواء الكتلة محملا ببخار الماء. ومن أمثلتها الكتل الهوائية المدارية البحرية التى تنتقل الى اليابس صيفا. والكتل القطبية القارية عندما تتحرك وتنتقل الى

المحيطات شتاء.

هذا وينبغى أن نشير الى أن مجموع الحروف يعطى المميزات العامة والخصائص الاساسية للكتلة الهوائية. مثال ذلك اذا رمزت لكتلة هوائية بالحروف (cPsK) فمعنى ذلك أنها ذات أصل قارى (c) وآتية من الجهات القطبية أو العروض العليا (p) وأنها تتصف بالثبات (s) وأنها باردة (k) أى أن درجة حرارتها منخفضة عن حرارة السطح الذى تمر عليه، فضلا عن أنها جافة.

وحينما نرمز لكتلة هوائية أخرى بالاحرف mTuW فيعنى هذا أنها بحرية (m) وذات أصل مدارى (T) أى من العروض المدارية، وغير ثابتة (u) وحارة أو دافئة (W) وممطرة.

أثر الكتل الهوائية فى طقس ومناخ مختلف الاقاليم

تتوقف أحوال الطقس وظروف المناخ فى مختلف جهات العالم على نوع الكتل الهوائية التى تتعرض لها وتؤثر فيها. ويمكننا أن نصف تلك المناطق حسب نوع الكتل من جهة، وموسمية التأثر بها من جهة أخرى، على النحو التالى :

١ـ مناطق تتأثر بنوع واحد من الكتل الهوائية طوال العام :

وتلك هى المناطق التى تنشأ بها الكتل الهوائية نفسها، كما هى حال المناطق القطبية حيث تنشأ بها الكتل الهوائية القطبية، والمناطق الواقعة تحت تأثير الضغط المرتفع المدارى الدائم. حيث تتولد الكتل الهوائية المدارية، والمناطق المحصورة بين المدارين التى تتعرض طوال السنة لتأثير الكتل الهوائية المدارية.

٢ـ مناطق تتأثر فى فصل من السنة بنوع من الكتل الهوائية يختلف عنه فى الفصل الاخر :

وفى هذه المناطق تتبدل الاحوال المناخية من فصل لآخر، ولكنها

تتميز بنظام ثابت خلال كل فصل على حدة. مثال ذلك الصين التى تتأثر بكتل هوائية قطبية قارية باردة (cPK) فى الشتاء تأتيها من سيبيريا. وفى فصل الصيف تصلها كتل هوائية بحرية مدارية دافئة (mTW) تتكون فوق المحيط الهادى. وتشبه الولايات المتحدة الصين فى ذلك. فهى تتعرض لتأثير كتل هوائية قطبية قارية باردة شتاء، وتخضع لتأثير كتل هوائية مدارية بحرية دافئة تتكون فوق المحيطين الهادى والاطلسى صيفا.

٣- مناطق تتأثر فى الفصل الواحد بكتل هوائية مختلفة :

تتعرض هذه المناطق لغزو أنواع مختلفة من كتل الهواء، ولا يستمر تأثير كل نوع منها سوى مدة قصيرة، ويضمحل ليحل محله تأثير كتلة هوائية أخرى. وتبعا لذلك يتغير مناخ هذه المناطق من وقت لآخر. ويحسب اقليم غرب أوربا أفضل مثال لمناخ هذا النوع من المناطق. ففى فصل الشتاء تغزوه أحيانا كتل هوائية مدارية قارية دفيئة (cT) من شمال افريقيا، أو مدارية بحرية دفيئة (mT) من المحيط الاطلسى. وتجلب هذه الكتل معها موجات غير عادية من الدفء الى غرب أوروبا والجزر البريطانية. كما قد يتعرض غرب أوروبا فى فصل الشتاء أيضا لهبوب كتل هوائية قطبية باردة جافة (cPK) تأتيه من شمال سيبيريا وشمال أوروبا، فيتكون الصقيع لعدة أيام أو أسابيع، أو لوصول هواء قطبى بحرى رطب بارد (mP).

وفى فصل الصيف يتعرض غرب أوروبا لكتل هوائية حارة تتكون فوق كتلة يابس أوراسيا الشديدة الحرارة، وتكون عظيمة الجفاف أيضاً. ويؤدى وصولها الى غرب أوروبا الى شيوع جو حار يكون مصدر مضايقة للسكان. كما يتعرض الاقليم لغزوات كتل هوائية قطبية بحرية تلطف من ارتفاع الحرارة.

الكتل الهوائية التى تؤثر فى مناخ مصر

يتأثر مناخ مصر خصوصا القسم الشمالى منها حتى حوالى مصر

الوسطى بكتل هوائية متباينة المصدر والخصائص، نجمل وصفها فيما يلى :

فى فصلى الخريف والشتاء :

١ـ كتل هوائية قطبية قارية شديدة البرودة، مصدرها الاصلى القسم الشمالى من روسيا. وقد تكون من القدرة بحيث تصل الى شمال السودان، وتسبب اثارة عواصف ترابية هناك.

٢ـ كتل هوائية قطبية بحرية مصدرها اما شمال الاطلسى أو شمال أوروبا الى وسطها وجنوبها ثم عبر البحر المتوسط حيث تدفأ وتتحمل ببخار الماء، فتكون سببا فى تكوين العواصف الماطرة فوق شمال مصر.

فى فصل الربيع وأوائل الصيف :

١ـ كتل هوائية حارة شديدة الجفاف (الخماسين) مصدرها الاصلى الكتل الهوائية المدارية التى تتكون فوق الصحراء الكبرى الافريقية وصحراء شبه جزيرة العرب.

٢ـ كتل هوائية مدارية بحرية مصدرها المحيط الاطلسى، وتصل الى مصر فى أعقاب مرور الانخفاضات الجوية الخماسينية، وتكون باردة نسبيا ومصحوبة ببعض السحب المنخفضة، وقد تتسبب فى اسقاط بعض المطر أحيانا.

المرتفع والمنخفض الجوى والجبهة الهوائية

المرتفع الجوى

الى جانب نطاقات الضغط المرتفع الدائمة والموسمية أو الفصلية، يحدث فى كثير من الاحيان أن يرتفع الضغط الجوى فوق منطقة معلومة ارتفاعا فجائيا أو سريعا، ويدوم بضعة أيام أو أسابيع. ويطلق على ارتفاع الضغط الجوى الذى نشأ بهذا الشكل اسم ضد اعصار Anti - Cyclone.

أحوال الطقس المصاحبة لضد الاعصار :

وأحوال الطقس التى تصاحب المرتفع الجوى غالبا معتدلة، وتكون

السماء صحوا، الا من بعض السحب المنخفضة القليلة الكثافة، التى سرعان ما تتبدد، فلا تسقط مطرا الا فيما ندر. ويكون انحدار الضغط فى مناطق أضداد الاعاصير بطيئا فى الغالب، لهذا تكون سرعة الرياح التى تخرج منها وتدور حولها بطيئة هى الاخرى. ولما كانت الرياح تخرج منها. فان هذا يؤدى الى تكوين تيارات هوائية هابطة من أعلى الى منطقة ضد الاعصار لتحل محل الهواء الذى خرج منها. ويساعد انضغاط الهواء الهابط أثناء حركته نحو سطح منطقة ضد الاعصار على رفع حرارته، وبالتالى تنخفض نسبة رطوبته مما يجعل هواء مناطق أضداد الاعاصير جافا فى العادة.

هذا وينبغى أن نشير الى أن كثيرا من المؤلفين يرون توسيع معنى مصطلح «ضد اعصار» ليطلق على أى منطقة أو نطاق يتمركز فيه ضغط مرتفع حتى ولو كان هذا الضغط دائما مستمرا طول السنة أو خلال فصل من الفصول

اسباب نشأة ضد الاعصار :

وتبعا لهذا وذاك يمكن تحديد أسباب نشأة أضداد الاعاصير فيما يلى:

١- هبوط الهواء من أعلى الى أسفل، وذلك بسبب تحرك الهواء السفلى الى الجهات المحيطة بضد الاعصار.

٢- انخفاض حرارة الهواء فى منطقة معلومة انخفاضا شديدا، فترتفع كثافته وضغطه بسبب انكماشه. مثال ذلك أضداد الاعاصير التى تنشأ فوق اليابس شتاء، وفوق المسطحات المحيطية (بالنسبة لليابس المجاور) صيفا.

٣- أضداد الاعاصير التى تنشأ فيما بين المنخفضات الجوية المتتابعة.

٤- انخفاض حرارة الهواء بسبب ملامسته للغطاءات الجليدية. وهنا قد تكون أضداد الاعاصير دائمة مستمرة طوال السنة أو تكون فصليه.

هذا ويظهر فى النصف الشمالى من الكرة الارضية ثلاثة مراكز رئيسية لأضداد الأعاصير أو المرتفعات الجوية هى :

١ـ جزر الازور فى شمال غرب افريقيا.

٢ـ أراضى القسم الاوسط من سيبيريا.

٣ـ القسم الشرقى من المحيط الهادى.

وتتحكم هذه المراكز الثلاثة فى الحركة اليومية لأضداد الاعاصير فى نصف الكرة الشمالى. ويبلغ متوسط عمر ضد الاعصار ستة أيام فى مقابل خمسة أيام للاعصار، لكنها أقل حدوثا من الاعاصير، فتبلغ نسبتها الى الاعاصير ٢ الى ٣.

انحدار الضغط فى منطقة ضد الاعصار

يرتفع الضغط الجوى فى مراكز المرتفعات الجوية فيبلغ نحو ١٠٣٥ ملليبارا، وقد يرتفع عن ذلك فيصل الى ١٠٤٠ ملليبار. وهو ينخفض تدريجيا من المركز نحو الخارج. ولا يشترط أن يكون هذا التدرج منتظما، فلقد نرى خطوط الضغط المتساوى ممتدة على خرائط الطقس فى شكل أقواس غير منتظمة. وتدور الرياح حول مركز المرتفع الجوى بحيث يكون الضغط المرتفع على يمينها فى نصف الكرة الشمالى، والى يسارها فى نصف الكرة الجنوبى. ولذلك فان دوران الرياح يكون مع اتجاه دوران عقارب الساعة فى نصف الكرة الشمالى، وضد دوران عقارب الساعة فى نصفها الجنوبى. وانحدار الضغط فى مناطق أضداد الاعاصير يكون بطيئا فى العادة، ولهذا فان سرعة الرياح التى تدور حولها بطيئة هى الاخرى.

ولا تتميز خطوط سير أضداد الاعاصير بالثبات، فهى كالاعاصير مضطربة المسالك، لكنها تتجه بصفة عامة من الغرب الى الشرق. ويرتبط اتجاه أضداد الاعاصير وسرعتها بالاعاصير اذا ما كانت واقعة بينها.

الجبهة الهوائية

حينما تلتقى كتلتان هوائيتان أحداهما باردة والاخرى دافئة، فانهما لا تختلطان ببعضهما، وانما تحتفظ كل منهما بخصائصها، وينشأ بينهما سطح قد اصطلح على تسميته بالجبهة الهوائية Air Front . فالجبهة عبارة عن سطح يفصل بين نوعين مختلفين من الكتل الهوائية، ويتميز بالتدرج السريع فى درجة الحرارة وكثافة الهواء ورطوبته النسبية. ويمتد هذا السطح الجوى من سطح الارض الى أعلى ليفصل بين الكتلتين الهوائيتين، ونتيجة لحركة دوران الأرض حول نفسها فان سطح الجبهة الهوائية يكون مائلا، وتزداد درجة ميله بالابتعاد عن خط الاستواء. ويتراوح معدل اتساع الجبهة على سطح الارض بين ١٠٠ ـ ٢٠٠ كم.

وقد تبين أن هنالك علاقة وثيقة بين نشأة الجبهات الهوائية وموقع التيار النفاث. اذ وجد أن أكثر الجبهات الهوائية شدة تقع ممتدة أسفل امتداد التيار النفاث، خصوصا فى النطاقات التى يشتد فيها ساعد التيار وتتضاعف حركاته الإعصارية.

مناطق تكون الجبهات :

يكثر تكون الجبهات الهوائية فى المناطق المعتدلة حيث يكثر التقاء كتل هوائية ذات خصائص متباينة. فهنا تلتقى الكتل الهوائية القطبية بالكتل الهوائية المدارية مكونة ما يعرف بالجبهة القطبية Polar Front وهذه الجبهة هى موطن تكون المنخفضات الجوية أو الاعاصير التى تؤثر فى طقس ومناخ المناطق المعتدلة.

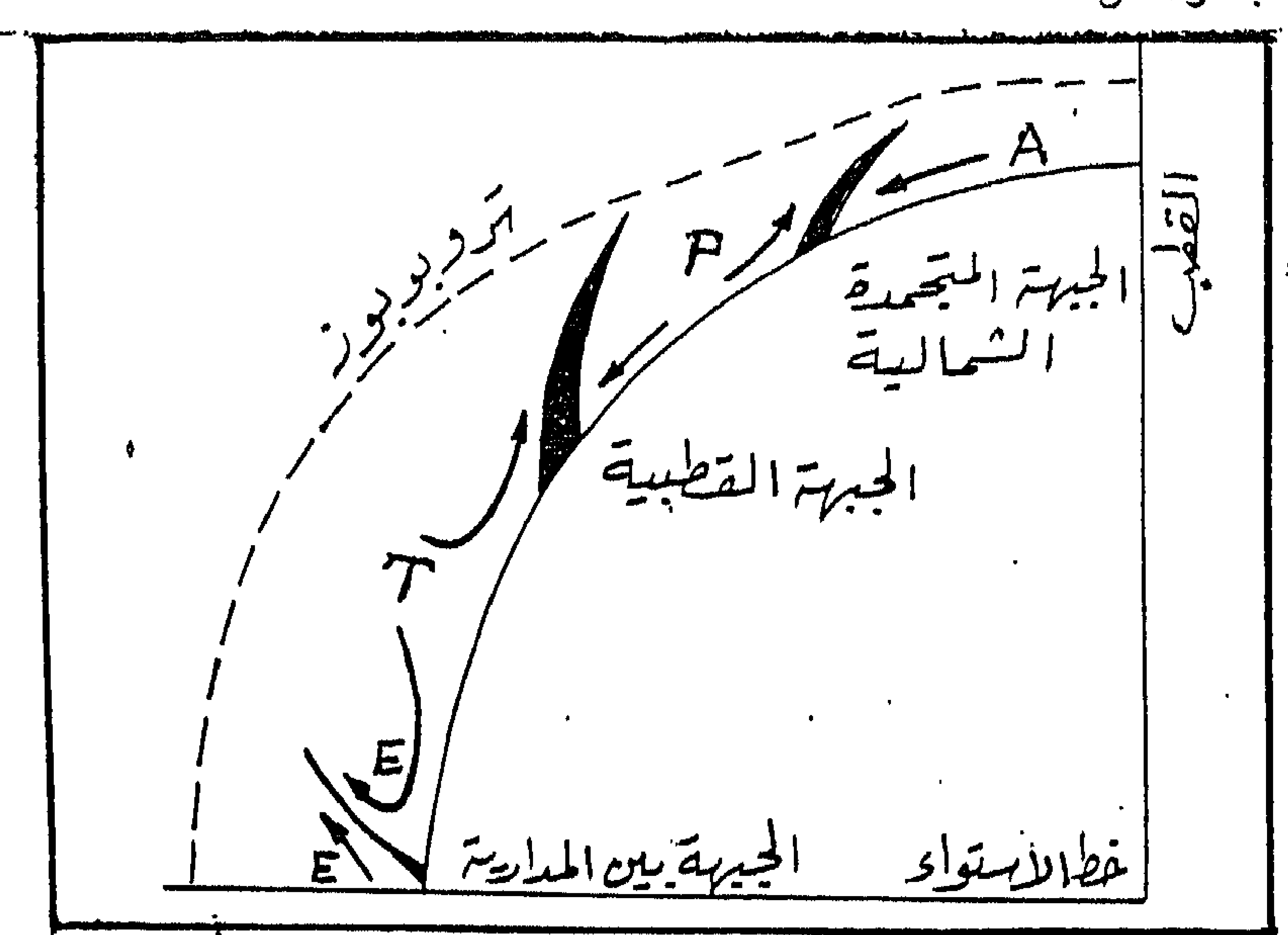
وأهم أجزاء الجبهة القطبية تتمثل فيما تسمى **جبهة المحيط الاطلسى الشمالى، وجبهة المحيط الهادى الشمالى** وعلى امتدادهما يعظم الفرق بين خصائص الكتل الهوائية المتقابلة : الكتل الهوائية القطبية والكتل الهوائية المدارية. وينبغى أن نشير الى أن مواقع الجبهات القطبية تتزحزح شمالا وجنوبا تبعا لحركة الشمس الظاهرية التى تنتقل معها مناطق الضغط الجوى ومجالات هبوب الرياح. فالجبهة القطبية تمتد فى فصل الشتاء حتى سواحل البحر المتوسط، بينما تتراجع فى الصيف نحو

الشمال.

وبالاضافة الى الجبهتين القطبيتين الرئيسيتين فى شمال المحيطين الهادى والاطلسى، هناك نطاقان مهمان للجبهات هما :

١- الجبهة القطبية الشمالية Arctic Front وتتكون قرب الدائرة القطبية الشمالية نتيجة للتباين الحرارى بين المسطحات المائية الشمالية واليابس المجاور لها، ومن أهم أجزائها ما يسمى الجبهة الكندية Canadian Front ، والجبهة الاطلسية فى شمال أوروبا.

٢- جبهة البحر المتوسط الهوائية، وهى التى تفصل بين الكتل الهوائية الباردة فى شمالى أوروبا، والكتل الدافئة فوق البحر المتوسط والاجزاء الشمالية من افريقيا. وعلى امتدادها تتولد معظم المنخفضات الجوية التى تؤدى الى اضطراب الجو وسقوط الامطار على بلدان حوض البحر المتوسط شتاء.



شكل (٢٣) النطاقات الرئيسية للجبهات والكتل الهوائية فى نصف الكرة الشمالى.

(١) الجبهة المتجمدة الشمالية، وتتكون عند التقاء كتلة هوائية متجمدة A ومدارية T .

(٢) الجبهة القطبية وتتكون فى حالة التقاء كتل هوائية قطبية P ومدارية T .

(٣) الجبهة الاستوائية (بين المدارية) وتتكون فى حالة التقاء E ومدارية T .

المنخفض الجـوى

بالاضافة الى مناطق الضغط المنخفض العامة، سواء منها الدائم المستمر طوال السنة، أو الذى يبقى خلال فصل واحد، هناك مناطق أخرى ينخفض فوقها الضغط الجوى انخفاضا فجائيا أو سريعا يترتب عليه اضطراب جوى يتسبب فى اختلال النظام العام للرياح فى تلك المناطق. ويعبر عن انخفاض الضغط الجوى بهذا الشكل باسم «الاعصار Cyclone» أو المنخفض الجوى Depression.

ورغم هذا التحديد الضيق للاعصار، فان كثيرا من المؤلفين يطلقون عبارة منطقة اعصارية Cyclonic Area على أى منطقة يرابض فوقها ضغط منخفض سواء كان دائما أو موسميا، وسواء كان سبب النشأة ارتفاع حرارة الهواء بسبب ملامسته لسطح الارض الساخن وتمدده وحدوث تيارات هوائية صاعدة، أم كان السبب تقابل كتل هوائية ذات خصائص مناخية متباينة.

كيفية نشأة المنخفض الجوى :

السبب الرئيسى فى نشأة الاعصار أو المنخفض الجوى هو تقابل كتل هوائية غير متجانسة. وكما قدمنا، لا تبقى الكتل الهوائية فى مناطق نشأتها الا لفترة وجيزة ، ثم تتحرك بعد ذلك لمسافات طويلة، وتلتقى غالبا فوق أسطح المحيطات على طول جبهات تمتد تقريبا فوق نطاقات الضغط المنخفض التى تجذب اليها تلك الكتل الهوائية.

أشكال التقاء الكتل الهوائية وتكوين المنخفضات الجوية :

الشكل الاول يحدث على نطاق واسع كما هى الحال فى نطاق التقاء الرياح الغربية الدافئة بالرياح القطبية الباردة حوالى الدائرتين القطبيتين الشمالية والجنوبية. فالهواء القطبى البارد يحاول التحرك أسفل الهواء الدافىء، نظرا لارتفاع كثافة الاول، وقلة كثافة الثانى وميله الى الانتشار. ويواصل الهواء البارد تداخله فى شكل أمواج أسفل الهواء الدافىء الذى ما

يلبث أن ينتشر ويصعد الى أعلى باستمرار، وتبعا لذلك ينخفض الضغط فى نطاق تلاقيهما.

الشكل الثانى يحدث على نطاق ضيق عندما يتكون المنخفض الجوى أو الاعصار فى العروض المعتدلة أو المدارية. وهذا الشكل هو موضوع هذه الدراسة.

وتنشأ المنخفضات الجوية أساسا نتيجة لالتقاء كتل هوائية ذات خصائص مناخية متباينة. فحينما يلتقى الهواء البارد هواء دافئا، فانه يندفع أسفله، ويصعد الهواء الدافىء الى أعلى، لانه أقل كثافة وبالتالى أخف من الهواء البارد، ويسمى السطح الفاصل بين الكتلتين باسم سطح الجبهة frontal Surface أو سطح الانفصال الجبهوى Surface of Separation . وحين يصعد الهواء الدافىء الى أعلى يبرد ، فيتكاثف ما به من بخار مكونا لسحاب ما يلبث ينهمر مطرا.

ونظرا لان الارض غير ثابتة، وانما تدور حول نفسها باستمرار، فان سطح الانفصال لا يكون أفقيا بل مائلا على المستوى بدرجة تتزايد كلّما بعدنا عن دائرة الاستواء. ويمكن القول بصفة عامة أن سطح الانفصال يرتفع بمعدل وحدة واحدة لكل مسافة مقدارها ١٠٠ وحدة أفقية. ولهذا فان الهواء الدافىء لا يطفو فوق الهواء البارد أفقيا، وانما يصعد الهواء الدافىء فوق الهواء البارد بشكل مائل. ومن الواضح أن هواء الكتل الباردة يظل لصيقا بسطح الارض بسبب ثقله، أما هواء الكتل الحارة فانه يجرى فوق سطح الانفصال الجبهوى فى شكل موجات متتابعة، كل موجة منها تمثل نواة لتكوين وتشكيل منخفض جوى.

وحينما تتوالى الموجات الدافئة وتلتقى فوق سطح الانفصال مكونة لمنخفض جوى فانه يجذب الهواء البارد الذى يندفع اليه محاولا الوصول الى مركزه فى حركة اتجاهها ضد اتجاه حركة عقارب الساعة، ولهذا فانها تندفع نحو مؤخرة الموجات الدافئة، أى نحو مؤخرة المنخفض، وتسمى

مقدمة الهواء البارد التى تغزو مؤخرة المنخفض بهذه الصورة باسم الجبهة الباردة Cold Front ، كما تسمى مقدمة الموجة الدافئة، وهى مقدمة المنخفض باسم الجبهة الدافئة Warm Front أما كتلة الموجة الدافئة نفسها التى تكون المنخفض، تسمى القطاع الدافىء Warm Sector .

ونظرا لان المنخفضات الجوية فى العروض المعتدلة تقع فى نطاق هبوب الرياح الغربية، فانها تتحرك من الغرب تجاه الشرق، وان كانت مساراتها تنحرف أحيانا نحو الشمال الشرقى بسبب نشاط الدورة الهوائية العامة وقوة الحركة الموجية للرياح العليا (الجيوستروفية).

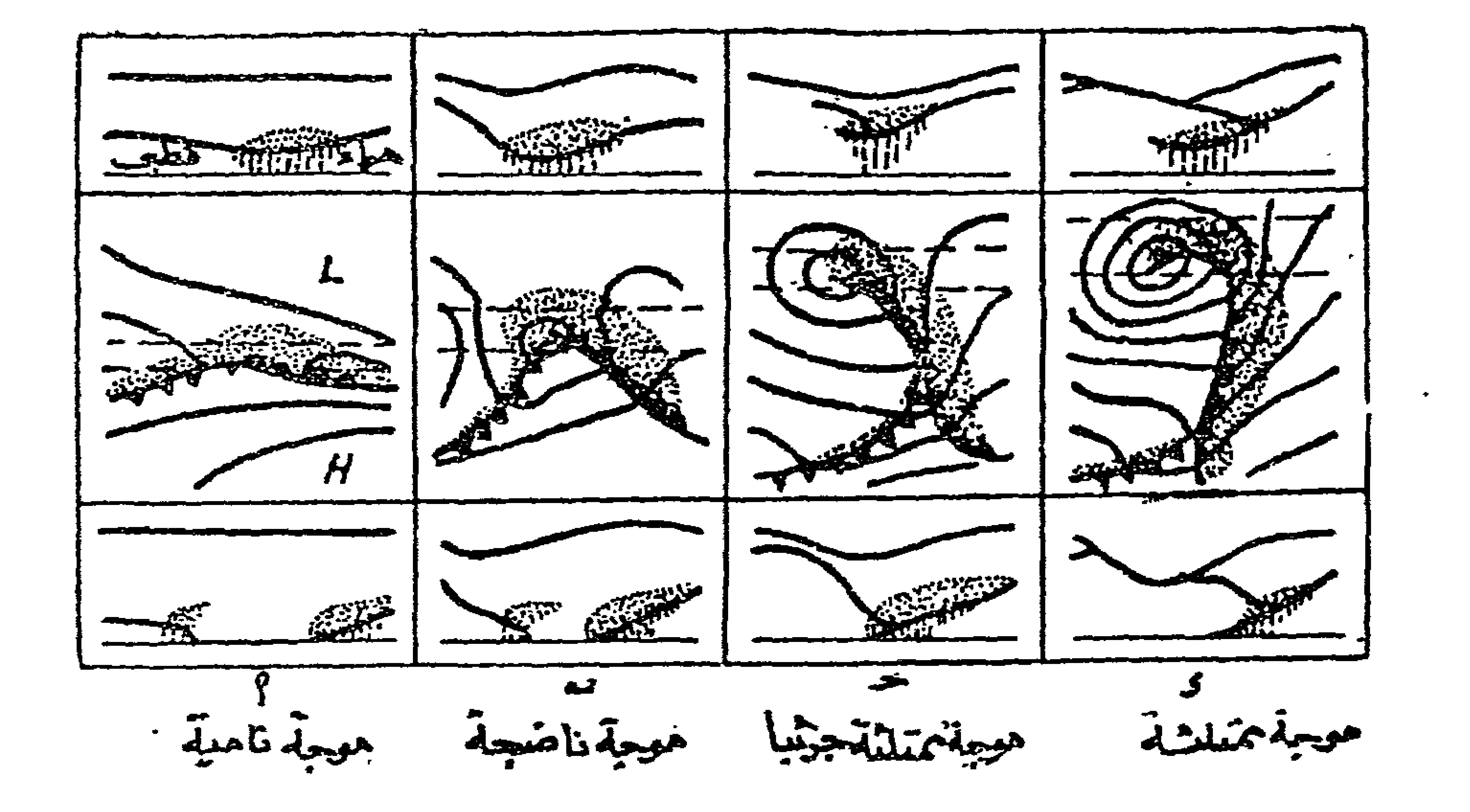
وتكون سرعة الهواء البارد فى مؤخرة المنخفضات أكبر من سرعة الهواء الدافىء فى مقدمتها. ذلك لان الهواء الدافىء يفقد جزء من سرعة الحركة أفقيا لمحاولته الارتفاع فوق الهواء البارد رأسيا. ولهذا يأخذ القطاع الدافىء من المنخفض الجوى فى الضيق بالتدريج، الى أن يلتقى الهواء البارد فى مقدمة المنخفض بالهواء البارد فى مؤخرته. وبذلك يقطع الصلة بين الجزء المتقدم من الموجة الدافئة عن الكتلة الدافئة أو القطاع الدافىء. وانفصال الجزء المتقدم يعتبر المرحلة النهائية لتكون المنخفض الجوى. وهى المرحلة المعروفة باسم مرحلة الامتلاء Occlusion وفيها يسيطر الهواء البارد على المنخفض، ويواصل غزوه للهواء الدافىء المحصور وتسربه أسفله حتى يتمكن من طرده الى طبقات الجو العليا، فيبرد، وبالتالى ينتهى المنخفض.

أنواع امتلاء المنخفضات الجوية

يلاحظ أن هناك نوعين من الامتلاء هما :

١- الامتلاء البارد Cold occlusion :

ويتم حينما يكون الهواء البارد فى مقدمة المنخفض أقل برودة من الهواء البارد فى موخرته ، فبدل أن يصعد فوقه عند التقائهما، فانه يندفع تحته.



شكل (٢٤) مراحل تطور انخفاض جوى.

- تمثل الرسوم الوسطى خرائط السطح.

- تمثل الرسوم العليا والسفلى قطاعات رأسية فى الجبهات على طول الخطوط المتقطعة فى الرسوم الوسطى.

٣ـ الامتلاء الدافىء Warm occlusion :

ويحدث حينما يكون الهواء البارد فى مقدمة المنخفض أشد برودة من الهواء البارد فى المؤخرة. فعند التقائهما يصعد الهواء الاقل برودة فوق الهواء الاكثر برودة، مثلما يحدث عندما يصعد هواء موجة دافئة فوق هواء موجة باردة.

الظواهر الجوية التى تصاحب المنخفضات الجوية

يصاحب نشأة المنخفضات الجوية ونموها ظواهر جوية، تنتقل معها من الغرب الى الشرق فى نفس اتجاه تحرك المنخفضات الجوية. وبناء على سلوك المنخفض الجوى، يتمكن خبير الرصد الجوى من التنبؤ بأحوال الطقس والتغيرات المتوقعة لاحوال الجو. لكن كثيرا ما تخيب توقعات الراصد الجوى لاسباب تتعلق بالمنخفض الجوى ذاته، ليس للراصد بها حيلة. فقد يغير المنخفض الجوى مساره، فينحرف الى الجنوب الشرقى أو الشمال الشرقى بدلا من اتجاهه مباشرة نحو الشرق، أو قد يمتلىء ويضمحل قبل وصوله الى منطقة محطة الرصد، أو قد يقوى ساعده ويشتد بورود هواء بارد وهواء دافىء جديد. ومن الممكن أن يغير المنخفض سرعته، فيسرع اذ تدفعه رياح غربية قوية، أو قد يرابض فوق منطقة بضعة أيام، فلا يصل الى منطقة الرصد فى الموعد الذى يتوقعه الراصد. ولهذا كله فان التنبؤات الجوية كثيرا ما تخطىء لهذه الاساب التى تخرج عن ارادة الراصد.

ويتألف المنخفض الجوى كما سبق ورأينا من خمسة أجزاء هى :

١ـ هواء بارد فى المقدمة. ٢ ـ جبهة دافئة.

٣ـ قطاع دافىء. ٤ـ جبهة باردة.

٥ـ هواء باردة فى المؤخرة.

فاذا لم يطرأ تغير غير منتظر على المنخفض الجوى، فان التقلبات

الجوية فى المناطق التى تقع على امتداد مسلكه، تتتابع بنظام معلوم يمكن سردها فى النقاط التالية :

١ـ عندما يمر قسم الهواء البارد فى مقدمة المنخفض، يسود الجو حالة استقرار، نظرا لتجانس الهواء فى برودته وعدم وجود هواء صاعد.

٢ـ وقبل أن تصل الجبهة الدافئة كجزء من أجزاء المنخفض، يسجل الباروجراف انخفاضا فى الضغط، ويسجل الترمومتر ارتفاعا فى حرارة الجو، وتزداد الحرارة ارتفاعا بوصول الجبهة الدافئة، ويتغير اتجاه الرياح، فتهب من الجنوب الشرقى والجنوب حاملة معها هواء مداريا حارا أو دافئا، جافا اذا كان أتيا من كتلة قارية، رطبا اذا كان صادرا من مسطح بحرى.

ثم تظهر فى الغرب سحب مرتفعة من نوع السمحاق Cirrus ، رقيقة جدا لونها أبيض ناصع، تشبه أهداب الريش، أو القطن المندوف، وهى تتألف من جزئيات صغيرة من الثلج. ويزداد سمك هذا السحاب كلما اقترب المنخفض من محطة الرصد كما يأخذ مستواه فى الهبوط، ويتحول الى نوع من السحب كثيف يعرف باسم السمحاق الطبقى Cirro - Sratus ، وهو رقيق نوعا وتظهر الشمس من خلفه نهارا والقمر ليلاً، ولكنه يكون حول كل من الشمس والقمر هالة من الضوء سببها انعكاس الاشعة على جزئيات الثلج. ويزداد سمك السحب ويهبط مستواها وتتحول الى نوع من السحاب الطبقى المتوسط الارتفاع المعروف باسم Alto - Stratus . وتواصل السحب التراكم وتستمر كثافتها فى الازدياد، ويزداد قربها من سطح الارض، بحيث تحجب ضوء الشمس،وحينئذ تتحول الى نوع يسمى المزن الطبقى Nimbo - Stratus . وحين يظهر المزن الركامى يبدأ سقوط المطر خفيفا، ثم لا يلبث أن يشتد عند مرور الجبهة الدافئة من المنخفض، وتزداد السحب انخفاضا حتى لا يزيد ارتفاعها عن ٥٠٠ متر، وفى هذه المرحلة تتزايد احتمالات تكون الضباب نتيجة لتبخر الامطار فى طبقة الهواء الواقعة أسفل السحب.

٣ـ ويلى مرور الجبهة الدافئة مرور القطاع الدافىء Warm Sector الذى يسمى «عين الاعصار» أو مركزه أو قلْبُه. وعند مروره يصبح الجو صحوا فى العادة. وقد تسقط أمطار خفيفة فى شكل رذاذ بسبب ارتفاع الهواء الدافىء فى مركز الاعصار، وتتحول الرياح من جنوبية أو جنوبية شرقية الى جنوبية غربية، وترتفع درجة الحرارة، وبتلاشى الضباب. وتنقشع الغيوم. ويتوقف سقوط المطر. ويستمر الحال على هذا النحو يوما أو بعض يوم حسب سرعة تحرك الانخفاض الجوى، ثم تصل بعد ذلك الجبهة الباردة.

٤ـ حينما تصل الجبهة الباردة تنخفض الحرارة سريعا، وتظهر فى السماء سُحُبٌ عالية ومتوسطة، وما تلبث أن تحل محلها سحب ركامية ومزن ركامى سميك Comulo Nimbus وتتحول الرياح فتصبح شمالية غربية، ويزداد انخفاض الحرارة، ويرتفع الضغط الجوى، وتهطل رخات من المطر الغزير، ويكون انهمار المطر مصحوبا فى كثير من الاحيان بعواصف رعدية، وقد تهب رياح شديدة البرودة. وتتواصل هذه الظواهر الجوية الشديدة مدة يوم أو اكثر حسب سرعة تحرك المنخفض وعلى الرغم من قسوة الظواهر الجوية التى تصاحب الجبهة الباردة فانها تكون محصورة فى مساحة صغيرة نسبيا، على عكس الظواهر الجوية التى ترافق الجبهة الدافئة التى تنتشر فوق مساحة اكبر، لكنها أقل شدة وقسوة.

٥ـ يأخذ الجو فى التحسن بعد مرور الجبهة الباردة، لكنه يبقى باردا نسبياً، وتهدأ الرياح، وقد تظهر سحب الركام وتسقط بعض الامطار نتيجة لورود جبهات ثانوية باردة. ولكن الجو يتحسن بالتدريج حتى يبتعد المنخفض نهائيا أو يمتلىء وتنتهى آثاره فيصبح الجو صحوا وترتفع الحرارة وتعود الظواهر الجوية الى ما كانت عليه قبل مرور المنخفض.

الجبهات النشطة والجبهات الخاملة

تتباين شدة المنخفضات الجوية بحسب اختلاف نشاط الجبهات الهوائية التى تصاحبها. فبعض الجبهات نشط تثير اضطرابا شديدا فى الجو، فتتغر سرعات الرياح واتجاهاتها بشدة، وينهمر المطر مدرارا. وتتكون الجبهات النشطة Anafronts عندما تكون تيارات الهواء الصاعدة فى القطاع الدافىء أقوى من تلك التيارات الصاعدة فى الجبهة.

وتتكون الجبهات الخاملة Katafront حينما تكون التيارات الهوائية الهابطة هى السائدة فى القطاع الدافىء من المنخفض.

توزيع المنخفضات الجوية وخصائصها ومسالكها

التوزيع :

يتوزع ظهور المنخفضات الجوية فى نطاقين كبيرين فيما بين دائرتى عرض ٣٥ ـ ٦٥ درجة شمالا وجنوبا. وهى العروض المعتدلة التى يسود فيها هبوب الرياح الغربية، ويكثر فيها تقابل الكتل الهوائية المدارية والقطبية. وهى تكثر ويزداد نشاطها فى فصول عنها فى فصول أخرى تبعا لمواقع ظهورها. فهى تكثر وتنشط فى فصلى الشتاء والربيع فى حوض البحر المتوسط، بينما تتعدد ويشتد نشاطها فى غرب أوربا فى فصلى الخريف والشتاء.

الحجم :

تختلف المنخفضات الجوية عن بعضها من حيث الحجم. فبعضها يغطى الواحد منها مساحة يصل قطرها الى ٢٠٠٠ كم، وبعضها الاخر صغير قد لا يزيد قطر المنطقة التى يغطيها على ٤٠٠كم. وسمك هواء المنخفض الجوى صغير اذا قيس بقطر حجمه، فهو لا يزيد على ٢٠ كم، ذلك أن الضغط الجوى يصبح متجانسا عند ارتفاع عشرين كيلو مترا.

وينبغى أن نشير الى أن تأثيرات المنخفض الجوى تتسع وتتعدى

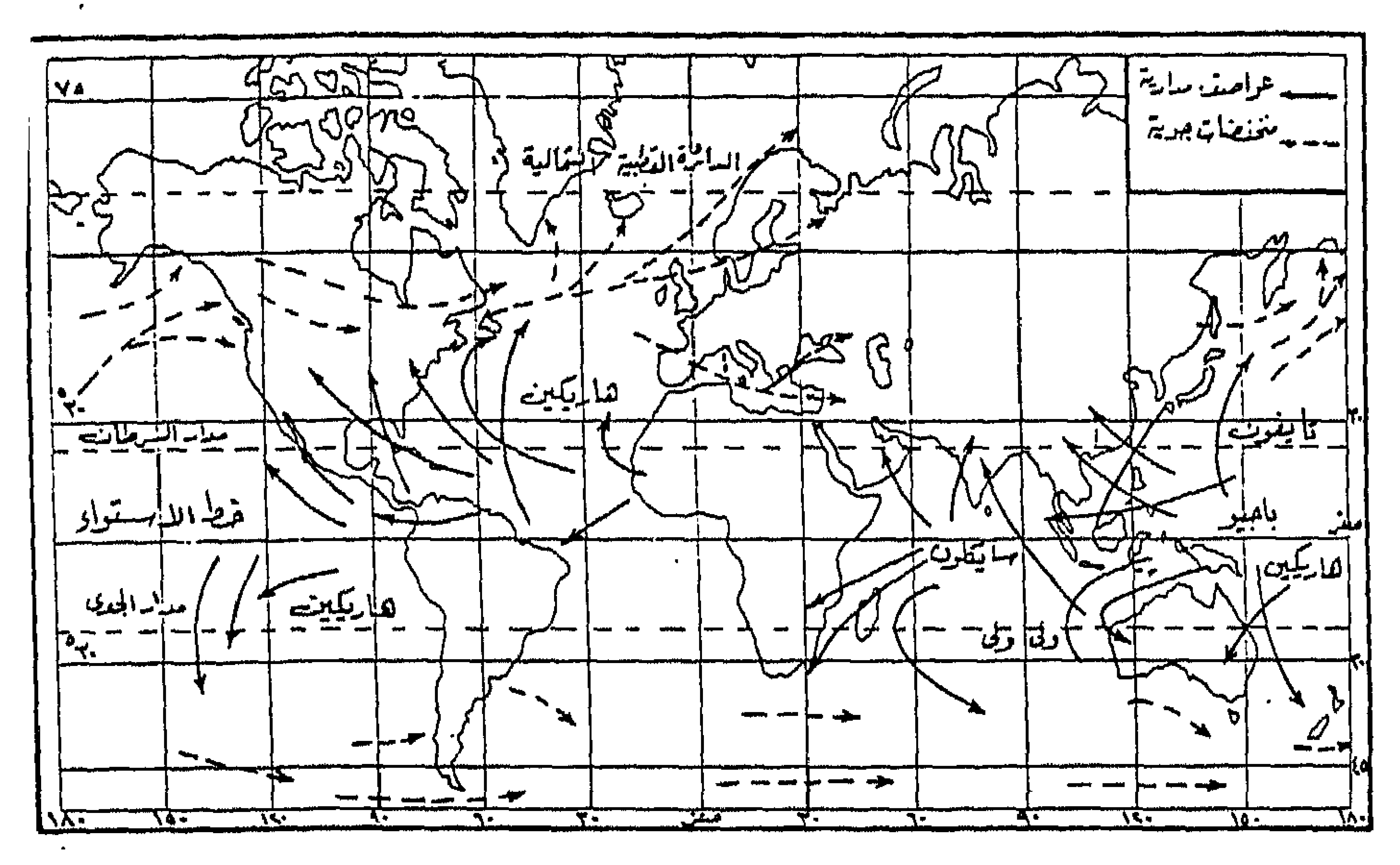
المنطقة التى يغطيها الى مناطق بعيدة، فكثيرا ما يتسبب فى جذب رياح قطبية باردة الى المناطق المدارية، وتحريك رياح حارة من المناطق المدارية الى المناطق الباردة. ويتوقف المدى الذى يصل اليه تأثير المنخفض الجوى على مقدار عمقه ودرجة انحداره.

العمق والانحدار :

بعض المنخفضات يكون شديد العمق، أى يكون الفرق كبيرا بين مقدار الضغط فى قلب المنخفض ومحيطه . وبعضها الاخر يكون ضحلا حينما يكون هذا الفرق صغيرا.

ويكون المنخفض شديد الانحدار اذا ما تقاربت خطوط الضغط، فيكون معدل انخفاض الضغط نحو مركزه كبيرا. أما اذا تباعدت خطوط الضغط على خرائط الطقس، فان ذلك يعنى أن معدل انخفاض الضغط نحو مركز المنخفض يكون صغيرا، وتبعا لذلك يصبح المنخفض ضعيف الأنحدار.

وتتوقف قوة المنخفض وما يثيره من اضطراب جوى وسرعة الرياح التى تدور حول قلب المنخفض على مقدار عمقه ودرجة انحداره، وعلى عوامل أخرى مثل سرعة دوران الارض حول نفسها، واختلاف هذه السرعة بالنسبة لدرجة العرض، وكذلك مقدار كثافة هواء المنخفض. فكلما كان المنخفض عميقا، وكان انحدار الضغط الجوى نحو مركزه شديدا، كلما كان قويا عنيفا. على أن تأثير شدة انحدار الضغط فى تقدير عنف المنخفض أهم من تأثير عمق المنخفض. فحينما يشتد الانحدار تزداد سرعة الرياح المندفعة نحو قلبه. فالمنخفض الجوى الذى يتدرج فيه الضغط الجوى نحو قلبه ستة ملليبارات مثلا فى مسافة خمسين كيلوا مترا، أعنف وأشد تأثيرا من منخفض آخر يتدرج فيه الضغط سبعة ملليبارات فى مسافة مائة كيلو مترا. هذا على الرغم من أن الثانى أعمق من الاول، لكن الاول أشد انحدارا من الثانى.



شكل (٢٥) مسالك العواصف المدارية والمنخفضات الجوية.

مسالكها :

تشير خرائط الطقس فى الاقاليم المعتدلة أن المنخفضات الجوية أو الاعاصير تتخذ لها مسالك أشبه بخطوط منحنية تصل بين مراكزها فى مواقعها المتتابعة. وتتحرك أعاصير الجهات المعتدلة من الغرب نحو الشرق، لكنها تنحرف قليلا نحو القطبين أى نحو الشمال الشرقى فى نصف الكرة الشمالى، ونحو الجنوب الشرقى فى النصف الجنوبى. كما وقد تبين أن مسارات الاعاصير تتحرك مع تحرك مناطق الضغط الجوى العامة نحو الشمال ونحو الجنوب تبعا لحركة الشمس الظاهرية.

السرعة :

سرعة تحرك المنخفض الجوى غير ثابتة وغير محددة. بل يحدث أحيانا أن يرابض المنخفض الجوى فوق منطقة معلومة عدة أيام، وبسبب سيادة ظروف جوية معينة. وهذا ما يحدث كثيرا فى شتاء النصف الشمالى، حين يتمركز منخفض جوى فوق جزيرة قبرص لمدة يومين أو ثلاثة. فيضطرب الجو فى شمال مصر طوال تلك المدة.



شكل (٢٦) منخفض جوى مرابض فوق جزيرة قبرص

وتتراوح سرعة تحرك المنخفض الجوى فى المتوسط بين ٢٠ ـ ٣٠ كيلو مترا فى الساعة، وتقل السرعة بطبيعة الحال قرب التلاشى أو الامتلاء. ويمكن القول بصفة عامة أن سرعة تحرك المنخفضات الجوية فى الشتاء أكبر منها فى الخريف. وأن المنخفضات العميقة أسرع من الضحلة.

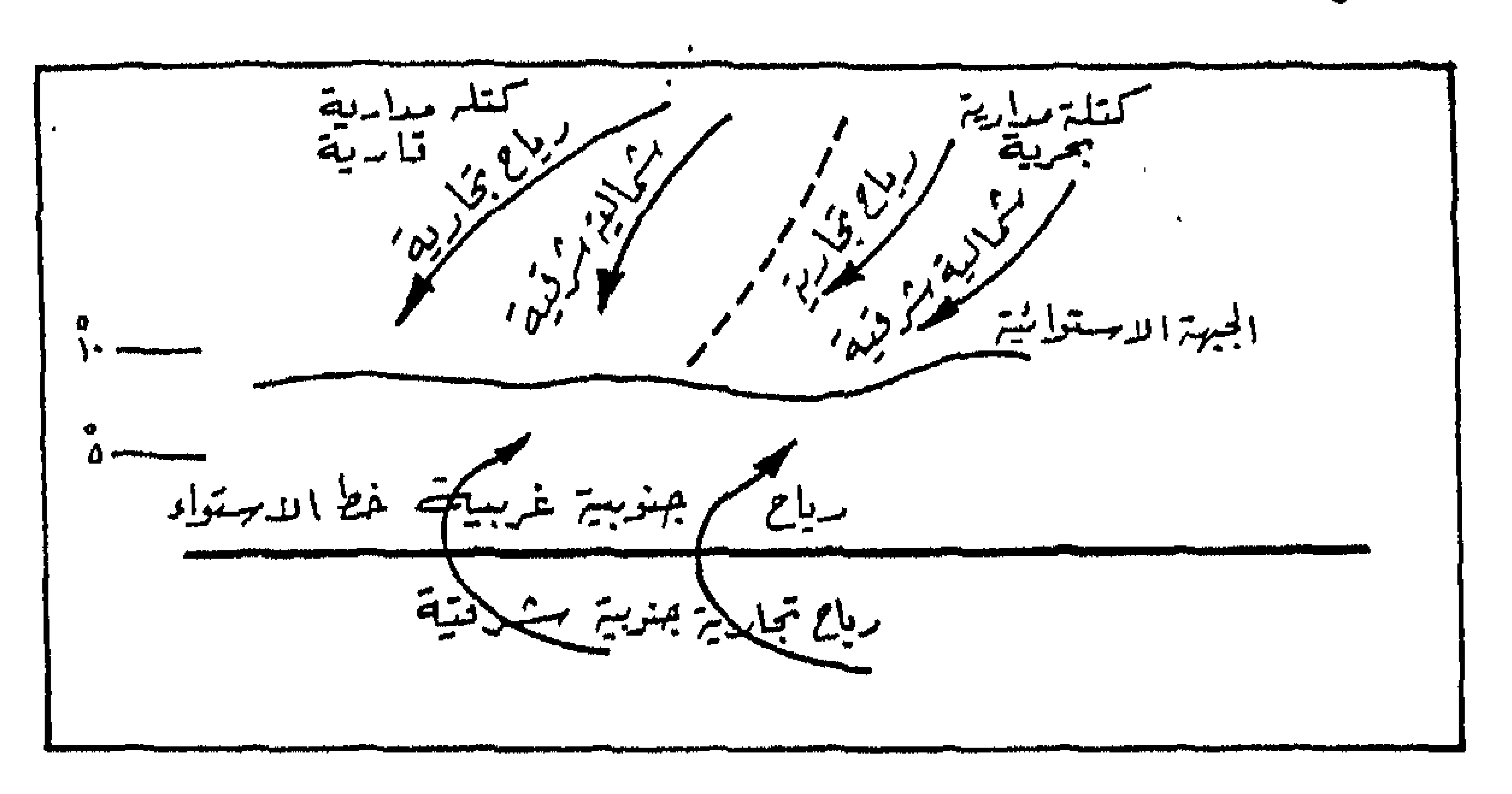
أعاصير الاقاليم المدارية

يتميز مناخ الاقاليم المدارية بالانتظام والرتابة بالقياس الى مناخ الاقاليم المعتدلة الذى يوصف بالاضطراب والتقلب الشديد. والسبب فى انتظام مناخ المناطق المدارية هو أن تلك المناطق تتعرض كلها لكتل هوائية مدارية متجانسة لا تتصف باختلافات شديدة فى درجات الحرارة، بينما تتعرض الاقاليم المعتدلة لالتقاء كتل هوائية قطبية ومدارية متطرفة الحرارة. ورغم هذا فان الاقاليم المدارية تعانى من تقلبات جوية تؤثر فى درجة الحرارة واتجاه الرياح وسرعتها وكمية الامطار الساقطة. والاضطرابات الجوية فى الاقاليم المدارية تستمد طاقتها من تكاثف بخار الماء، فهى ليست اضطرابات جبهات كما هى حال اضطرابات المناطق المعتدلة. وتسمى الاعاصير المدارية أحيانا باسم العواصف المدارية أو الزوابع المدارية.

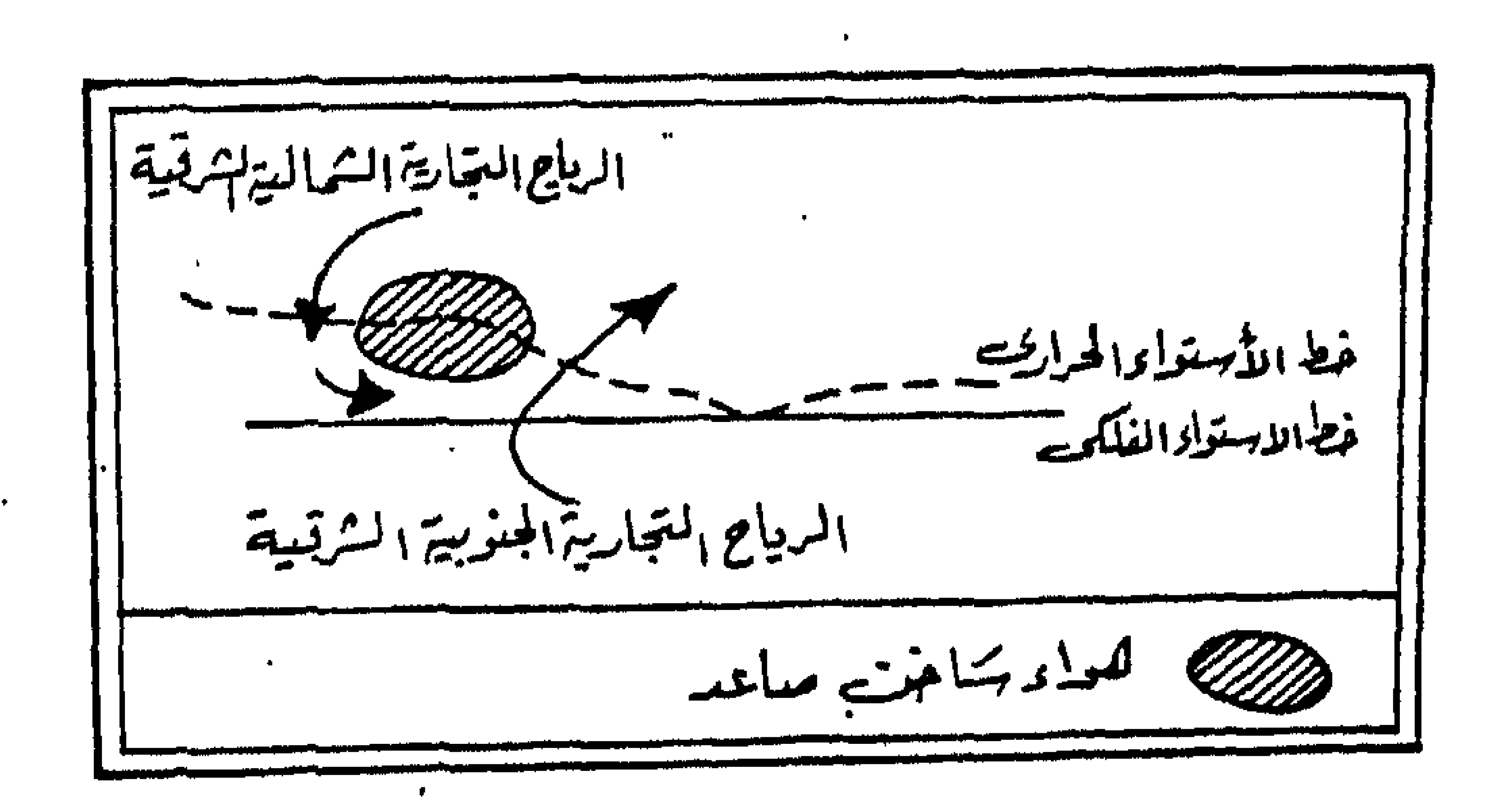
موازنة بين الاعاصير المدارية وأعاصير الجهات المعتدلة :

وحينما نجرى موازنة بين الاعاصير المدارية والمنخفضات الجوية فى المناطق المعتدلة. نجد الاولى تظهر فى نطاق الرياح التجارية والرياح الموسمية أما الثانية فتوجد فى نطاق هبوب الرياح الغربية وبينما تتحرك الاعاصير المدارية من الشرق نحو الغرب بتأثير الرياح التجارية، فإن المنخفضات الجوية تتحرك من الغرب نحو الشرق بتأثير دفع الرياح الغربية. ويغلب حدوث الاولى فى مناطق معلومة فوق المحيطات بينما تحدث الثانية فوق الماء وفوق اليابس على حد سواء. وحجم الاعصار المدارى صغير بالنسبة لحجم المنخفض الجوى، فقطر الاول يتراوح بين ١٠٠ - ٢٥٠ كم بينما يزيد قطر المنخفض الجوى على ألفى كيلو متر. وتتطور العواصف المدارية الى زوابع قوية ترافقها رياح مدمرة وأمطار غزيرة، فهى أشد قوة وأعظم أثرا من المنخفضات الجوية، ويترتب عليها من الخسائر فى الارواح والممتلكات. والعواصف المدارية أكثر عمقا من أعاصير الجهات المعتدلة، وانحدار الضغط فيها أشد والرياح من حولها أعنف وأقوى.

وتتشابه الاعاصير المدارية ومنخفضات العروض المعتدلة فى اتجاه دوران الرياح حول مراكزهما، فهو ضد عقارب الساعة فى نصف الكرة الشمالى، ومع اتجاهها فى نصف الكرة الجنوبى، كما تتشابه فى معظم الظواهر الجوية التى تصاحبهما، وان كانت ظواهر العواصف المدارية أعنف وأشد قسوة كما أسلفنا.



شكل (٢٧) نشأة الأعاصير المدارية عند إلتقاء ثلاث كتل هوائية مختلفة الخصائص.



شكل (٢٨) مناطق نشأة الأعاصير المدارية

نشأة الاعاصير المدارية :

على الرغم من أن عمليات الرصد الدقيقة التى تمت حتى الآن للعديد من الاعاصير المدارية، واستخدمت فيها المراكب الفضائية والرادارات قد

ألقت كثيرا من الضوء على تطور تلك الاعاصير، فان ما نعرفه من معلومات حتى الان ما يزال غير كاف لتفسير نشأتها وتطورها.

وهناك عدد من الآراء التى قيلت فى أسباب نشأة الاعصار المدارى نلخصها فى الآتى :

١- رأى يقول بأن سبب نشأتها يرجع **لتقابل ثلاث كتل هوائية** غير متجانسة الخصائص، ويحدث هذا حينما تتقابل كتل هوائية مدارية قارية بأخرى بحرية فى نطاق يقع على الجبهة الاستوائية، وعندئذ يحدث اضطراب شديد فى أهوية تلك الكتل وتداخل بينها، ويتكون تبعا لذلك الإعصار المدارى الذى تشتد حركة الرياح حوله.

٢- رأى آخر يقول بأن الاعاصير المدارية تنشأ بفعل عمليات التسخين المحلية لهواء نطاق الرهو الاستوائى الرطب على الأجزاء الغربية من المحيطات، حيث يساعد الهواء وسكونه على رفع درجة حرارة المستويات السفلى منه الملامسة لسطح الارض بسرعة، ومن ثم تتمدد وترتفع الى أعلى فى هيئة تيارات هوائية صاعدة.

أضف الى ذلك أن التيارات المائية البحرية الاستوائية تجلب الى الاجزاء الغربية من المحيطات كميات هائلة من المياه السطحية الدافئة بصفة مستمرة، ويكون الهواء الذى يعلوها مشبعا ببخار الماء، وهو مصدر الامطار الغزيرة التى تصاحب الاعاصير المدارية.

وقد أمكن تجميع عدد من الحقائق عن طريق الرصد واستخدام النماذج التجريبية والرياضية، نلخصها فى النقاط التالية، فهى لاشك تعين على نشأة الاعاصير المدارية وتطورها :

١- لا تظهر الاعاصير المدارية عند خط الاستواء نفسه، بل انها لا تنشأ فى النطاق الواقع بين دائرتى عرض ٥ درجة شمالا وجنوبا، نظرا لانعدام تأثير قوة كوريولى، وهى القوة الانحرافية المسئولية عن احداث الحركة الدورانية التى تتميز بها الأعاصير المدارية، أى دوران الرياح بسرعة

حول عين الاعصار فى شكل دوامة. ولهذا فان الاعاصير المدارية تنشأ فى الفصل الذى تتزحزح فيه منطقة الرهو الاستوائى الى أبعد مدى عند دائرة الاستواء نحو الشمال أو جهة الجنوب، ويكون ذلك فيما بين دائرتى عرض ١٠ ـ ٢٠ درجة شمالا أو جنوبا.

٢ـ يخلو المحيط الاطلسى الجنوبى من الاعاصير المدارية، لان نطاق الرهو الاستوائى لا يتزحزح الى الجنوب من خط الاستواء على هذا المحيط فى أى فصل من فصول السنة، نظرا لقلة مساحة اليابس بالنسبة لمساحة الماء فى هذا القسم الجنوبى من المحيط. وتبعا لذلك يمكننا القول بوجود علاقة قوية بين مناطق نشأة العواصف المدارية وموقع نطاق الركود الاستوائى.

٣ـ يكثر حدوث الاعاصير المدارية فى نصف الكرة الشمالى فيما بين شهرى أغسطس وأكتوبر، وفى النصف الجنوبى فيما بين شهرى يناير ومارس. وتصل الى أقصى نشاط لها عندما تكون الرياح الغربية فى المناطق المعتدلة منكمشة شمالا (فى النصف الشمالى) أو جنوبا (فى النصف الجنوبى)، وحينئذ تتوغل فى سيرها غربا ثم تنحرف شمالا أو جنوبا، وتدخل فى نطاق هبوب الرياح الغربية، فتتحول الى منخفضات جوية عادية تتحرك من الغرب نحو الشرق.

٤ـ تستمد الزوابع المدارية قدرتها الضخمة وعنفوانها من تكاثف بخار الماء، ولهذا فلابد من وجود مسطحات مائية حارة تزيد درجة حرارة مياهها السطحية على ٥٧ درجة مئوية. وقد تبين أن درجة الرياح تزداد بازدياد انحدار الضغط ودرجة حرارة المياه السطحية. ويبدأ الاعصار المدارى فى الضعف ثم التلاشى اذا دخل اليابس نظرا لانه حينئذ يبتعد عن مورد تزويده ببخار الماء، أو حينما ينتقل الى مسطحات مائية باردة تفتقر الى الحرارة التى ينبغى أن يتزود بها.

٥ـ لوحظ أنه حينما يتكون الاعصار المدارى وينمو، ينشأ مرتفع جوى

قوى فى المستوى العلوى من التروبوسفير، وهذا من شأنه تكوين ضغط جوى منخفض على السطح.

٦- حين ينشأ الاعصار المدارى وينمو، تتكون فى مركزه منطقة مستديرة الشكل يتراوح قطرها بين ٢٠ ـ ٣٠ كيلو مترا، هى التى تسمى «**عين الاعصار**» ، وفيها تكون الرياح هادئة والسماء صافية، والامطار قليلة، كما تتصف بالتيارات الهوائية الهابطة.

ويدور الهواء حول عين الاعصار ضد عقارب الساعة فى نصف الكرة الشمالى، ومعها فى النصف الجنوبى، وذلك بسرعة قد تصل الى ٣٧٠ كيلو مترا فى الساعة.

وأكثر مناطق الاعصار اضطرابا هى التى تحيط بعين الاعصار، وتعرف باسم «جدار عين الاعصار» Eye Wall ، وفيها تعنف الرياح وتبلغ أقصى سرعاتها، وتغيم السماء وتسقط الامطار الغزيرة، ويسودها صعود الهواء.

توزيع الأعاصير المدارية ومسالكها:

ذكرنا أن الاعاصير المدارية لها مسارات شرقية غربية، لكنها تنحرف شمالا فى نصف الكرة الشمالى، وجنوبا فى نصفها الجنوبى. وتدور الاعاصير المدارية فى سيرها حول الهوامش الغربية لمناطق الضغط المرتفع فوق شرقى المحيطات، حيث تلتقى تلك المناطق مع مناطق الضغط المنخفض التى تنشأ فوق اليابس صيفا، وذلك فى نطاق الركود الاستوائي فيما بين ١٠ ـ ٢٠ درجة شمالا وجنوبا (أنظر شكل ٢٥).

وأهم مناطق توزيعها ما يلى :

١- منطقة البحر الكاريبى (جزء الهند الغربية وخليج المكسيك وسواحل فلوريدا) ، حيث تعرف هناك باسم هاريكين Hurricane ويصيبها نحو ستة أعاصير فى السنة فيما بين شهرى يونية ونوفمبر، معظمها فى شهرى سبتمبر واكتوبر.

٢ـ منطقة البحر العربى ويصيبها اعصاران، ومنطقة المحيط الهندى شرقى جزر مدغشقر ويصيبها نحو ستة أعاصير سنويا، وتعرف الاعاصير فى هذه المناطق باسم الاعاصير Cyclones .

٣ـ خليج بنغال، ويصيبه نحو عشرة أعاصير سنويا فيما بين شهرى يونيه ونوفمبر.

٤ـ بحر الصين وسواحل اليابان حيث تعرف باسم تيفون Typhone وجزر الفيلبين حيث يعرف باسم باجويوس Baguios ، ويصيب تلك المناطق نحو ٢٢ اعصارا كل سنة، معظمها يحدث فيما بين يوليو وأكتوبر، وان كانت هذه المناطق تتعرض لحدوث الاعاصير فى جميع شهور السنة، أكثرها سبتمبر بمعدل ١٩ اعصارا، وأقلها فبراير ومارس بمعدل اعصارين لكل منهما.

٥ـ منطقة جنوب المحيط الهادى شرقى استراليا وجزر ساموا Samoa ، وتعرف هنا باسم ويلى ويليز Willy -willies ويصيبها اعصاران سنويا فى المتوسط.

حركة الاعاصير المدارية وكوارثها :

كثيرًا ما يطلق على الاعاصير المدارية اسم عام هو (هاريكين) وذلك عندما تزيد سرعتها على ١٤٠ كيلو مترا فى الساعة. ويدل على قرب وصول الاعصار انخفاض الضغط الجوى. وتغير سرعة الرياح واضطراب اتجاهاتها. وإثارة أمواج عالية فى مياه المحيط، وظهور سحب السمحاق، التى ما تلبث أن تتحول الى سحب السمحاق الطبقى المتوسط الارتفاع ثم سحب الركام.

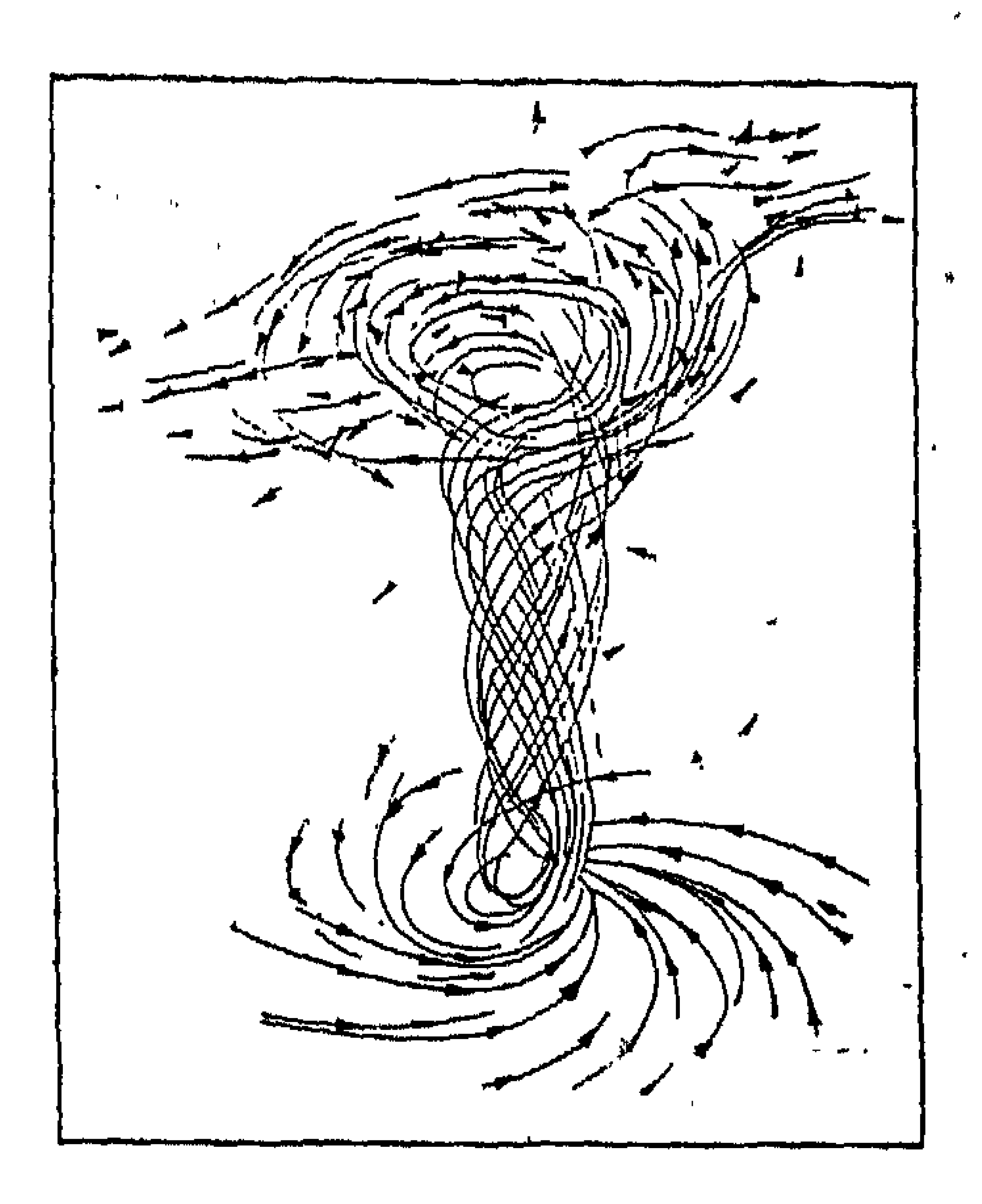
وعندما يصل الاعصار الى منطقة الرصد يهبط الضغط الجوى بسرعة، وتشتد سرعة الرياح، ويسقط المطر الغزير. فاذا ما حل بالمكان عين الاعصار يصحو الجو، وتهدأ الريح. وحينما يمر عين الاعصار يرتفع الضغط وتهب الرياح بشدة وتسقط الامطار بغزارة. وحينما يمر الاعصار تعود ظروف الجو الى حالتها العادية.

ويصيب المناطق الساحلية المأهولة بالسكان كثير من الدمار

والتخريب بسبب تعرضها لهبوب الاعاصير المدارية، اذ ترافقها رياح تصل سرعتها الى ما يزيد على ٣٧٠ كيلو مترا فى الساعة، ويسقط مطر غزير قد يبلغ مقداره خمسين سنتيمترا فى اليوم الواحد، فيسبب فيضانات مدمرة، وتثير الرياح القوية أمواجا عاتيه تقتحم الخلجان والشواطىء، وتغمر مساحات واسعة. ومن أمثلة الدمارالذى يصيب الشواطىء المأهولة ما لحق بجمهورية بنجلاديش فى اكتوبر من عام ١٩٧٠، فقد ضربها اعصار عات مخرب أزهق أرواح نحو ثلث مليون نسمة، ودمر عمائر ومنشآت فوق مساحة كبيرة، وشرد مئات الالوف من البشر. وفى شهر يوليو من هذا العام ١٩٩٨، غطت مياه الفيضانات بسبب الأعاصير ما يزيد على نصف مساحة بنجلاديش..!! ولك أن تتصوّر مقدار وحجم الكارثة التى أصابت البشر والممتلكات.

ورغم أن حجم الاعصار المدارى ليس كبيرا بالقياس الى الانخفاض الجوى، فقطره المثالى فى حدود ٦٥٠ كم، فان الضّغط الجوى فيه يكون منخفضا للغاية، فقد يهبط أحيانا الى نحو ٩٥٠ ملليبارا، بل لقد ينخفض فى حالات شاذة الى ٩٢٠ ملليبارا، وهو بذلك يكون شديد العمق، كما أن انحدار الضغط فيه يكون شديدا للغاية، حتى أن خطوط الضغط المتساوى المرسومة حول عينه تكون فى شكل دوائر، وتكون متقاربة جدا. هذا ويبلغ متوسط عمر الاعصار المدارى بين يومين وثلاثة أيام، ولكنه - مثل الانخفاض الجوى - قد يرابض فوق منطقة يوما أو يومين أو أكثر مما يتسبب فى مضاعفة تأثيراته التخريبية.

هذا وتبذل حكومات الدول التى تضربها الاعاصير المدارية جهودا كبيرة فى سبيل مراقبتها وتتبع مساراتها وانذار المناطق التى ستصيبها باقتراب وصولها. كما أمكن اتخاذ بعض اجراءات من شأنها التأثير عليها واضعافها. فقد استخدمت الولايات المتحدة الامريكية الطائرات والسفن الفضائية فى تحديد مواقع الاعاصير فوق المحيط وتتبع مساراتها لامكانية الانذار المبكر، وفى نشرها بمسحوق الثلج وبأيوديد الفضة لكى يتكاثف ما بها من بخار ماء بسرعة فيفقد الاعصار مورد طاقته التدميرية وهو تكاثف بخار الماء قبل أن يصل الى الشواطىء المأهولة.



شكل (٢٩) إعصار مدارى : رسم تخطيطى للشكل اللولبى أو الحلزونى الشديد الذى يظهر به الإعصار الدارى.

أعاصير التورنادو

التورنادو Tornado كلمة أسبانية الاصل تطلق على العواصف المدارية التى تظهر فى غرب افريقيا على ساحل غانة بالقرب من دائرة الاستواء ويترتب عليها تغير سريع فى حركة الرياح يضايق السفن. ولهذا يطلق عليها حاليا **التورنادو الافريقى**. وقد انسحب الاسم الآن ليطلق على الاعاصير المدارية التى تصيب الولايات المتحدة الامريكية خصوصا ولاياتها الجنوبية فى اطار حوض نهر المسيسبى.

نشأتها :

يتكون اعصار التورنادو الافريقى حينما تهب رياح الهرمتان الجافة من الصحراء الكبرى الافريقية على ساحل غانة، وتلتقى هناك بالرياح الموسمية الرطبة التى تهب من خليج غانة.

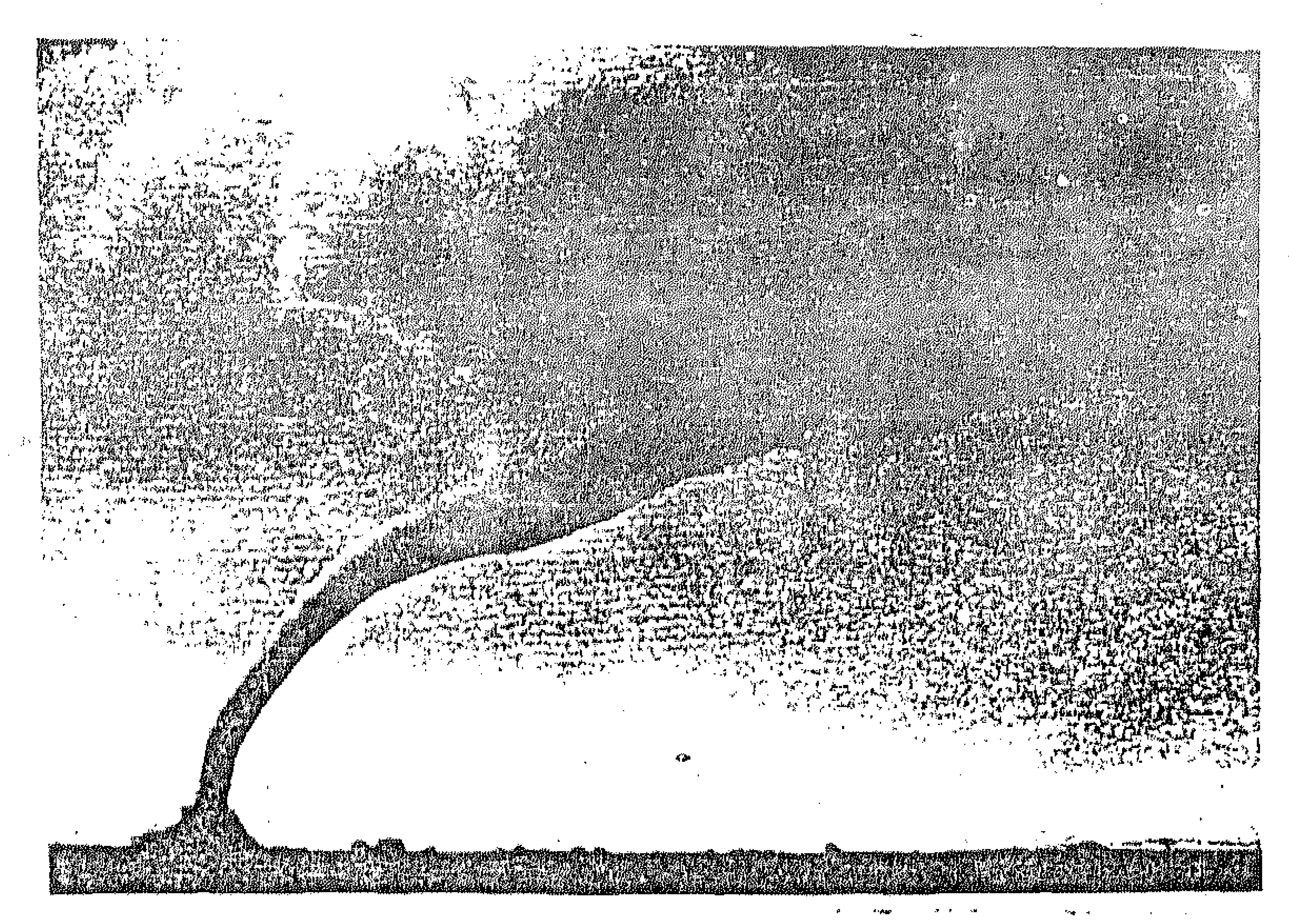
أما اعصار التورنادو الامريكى، فيظهر فى المناطق المعتدلة داخل نطاق بعض المنخفضات الجوية. وأفضل ظروف تكونه هى عندما يزحف هواء قطبى بارد فوق هواء مدارى دافىء رطب قادم من خليج المكسيك.

ويغلب تكون التورنادو فى البحر ثم تتحرك الى اليابس. وعلى الرغم من أن كيفية نشأته لم تعرف على وجه الدقة حتى الآن، فانه من المعتقد أن المصدر الرئيسى للطاقة فى التورنادو هو الطاقة الكهربائية الزائدة التى تتراكم فى الاعصار بفعل شدة البرق. هذا ولم يتم تطوير وسيلة فعالة حتى الان للتنبؤ بالتورنادو وتحديد مساره.

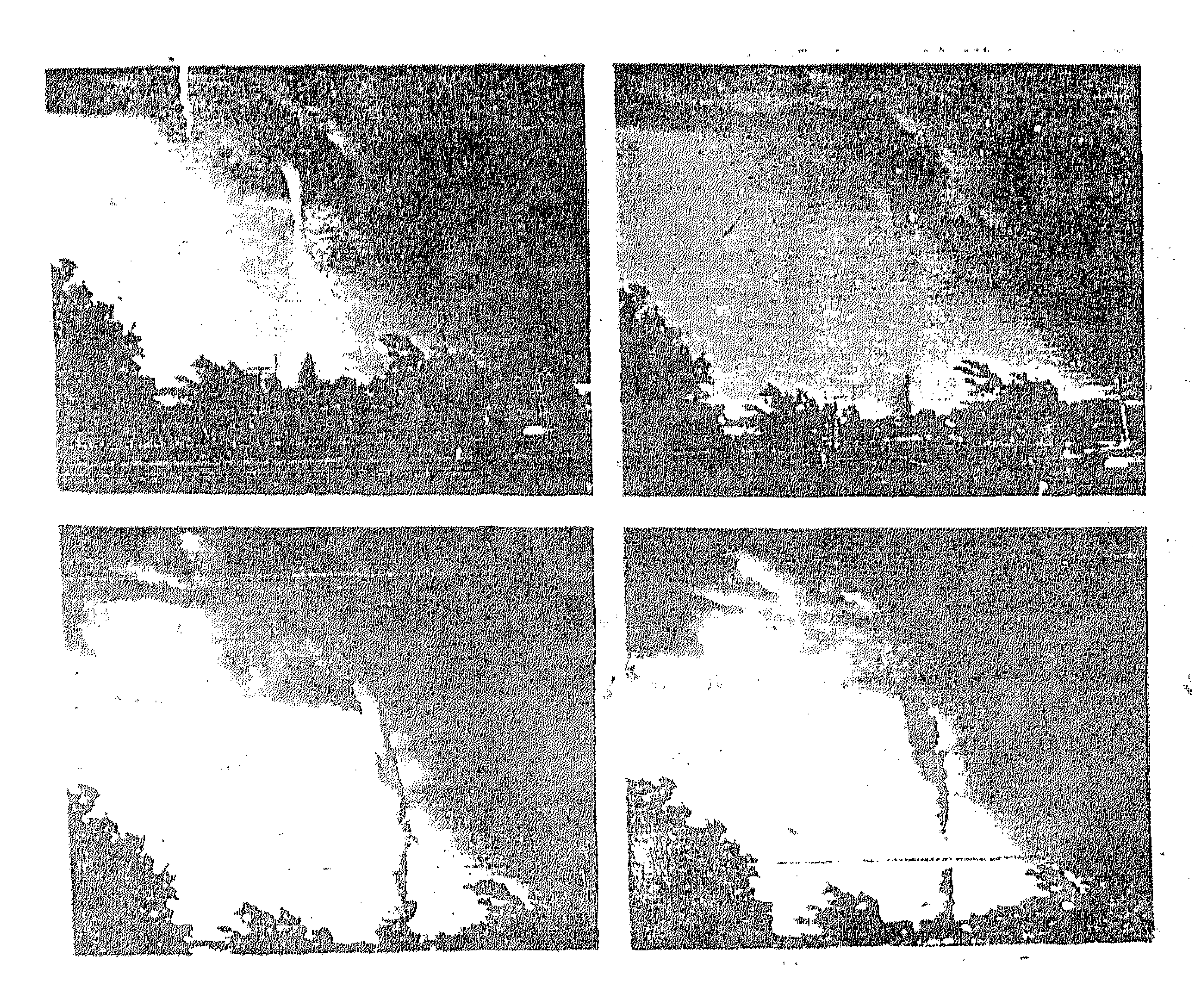
خصائصها وكوارثها :

أعاصير التورنادو أعظم الاعاصير المدارية عنفا، وأكثرها تدميرا، فهى من القدرة بحيث تصيب المنطقة التى تمر بها بالدمار الكامل، حتى لتبدو وكأنه قد ضربها زلزال عنيف. وتعزى الطاقة التدميرية الهائلة التى يتميز بها التورنادو الى صغر حجمه من جهة، والى شدة تدرج الضغط الجوى وعمقه من جهة أخرى، أضف الى ذلك سرعة دوران الرياح الشديدة حول عين الاعصار - ذلك أن أغلب أعاصير التورنادو لا يزيد عرضها عن كيلو مترين، ومساره لا يزيد على ٢٠ كيلو مترا، لكن الضغط الجوى يتناقص فيه الى ٨٠٠ بل الى ٦٠٠ ملليبارا، وتبلغ سرعة الرياح ٥٠٠ كم/ ساعة. وهذه أرقام تقديرية لانه لم يتم حتى الان التمكن من قياس شدة انحدار الضغط الجوى أو سرعة الرياح التى تدور حول مركز التورنادو، لان آلات الرصد تتعرض للتدمير الكامل بسبب شدة الرياح. ولقد أمكن الوصول الى تقديرات لانحدار الضغط وسرعة الرياح عن طريق دراسة وتحليل الآثار التى يتركها التورنادو فى المنشآت التى يدمرها.

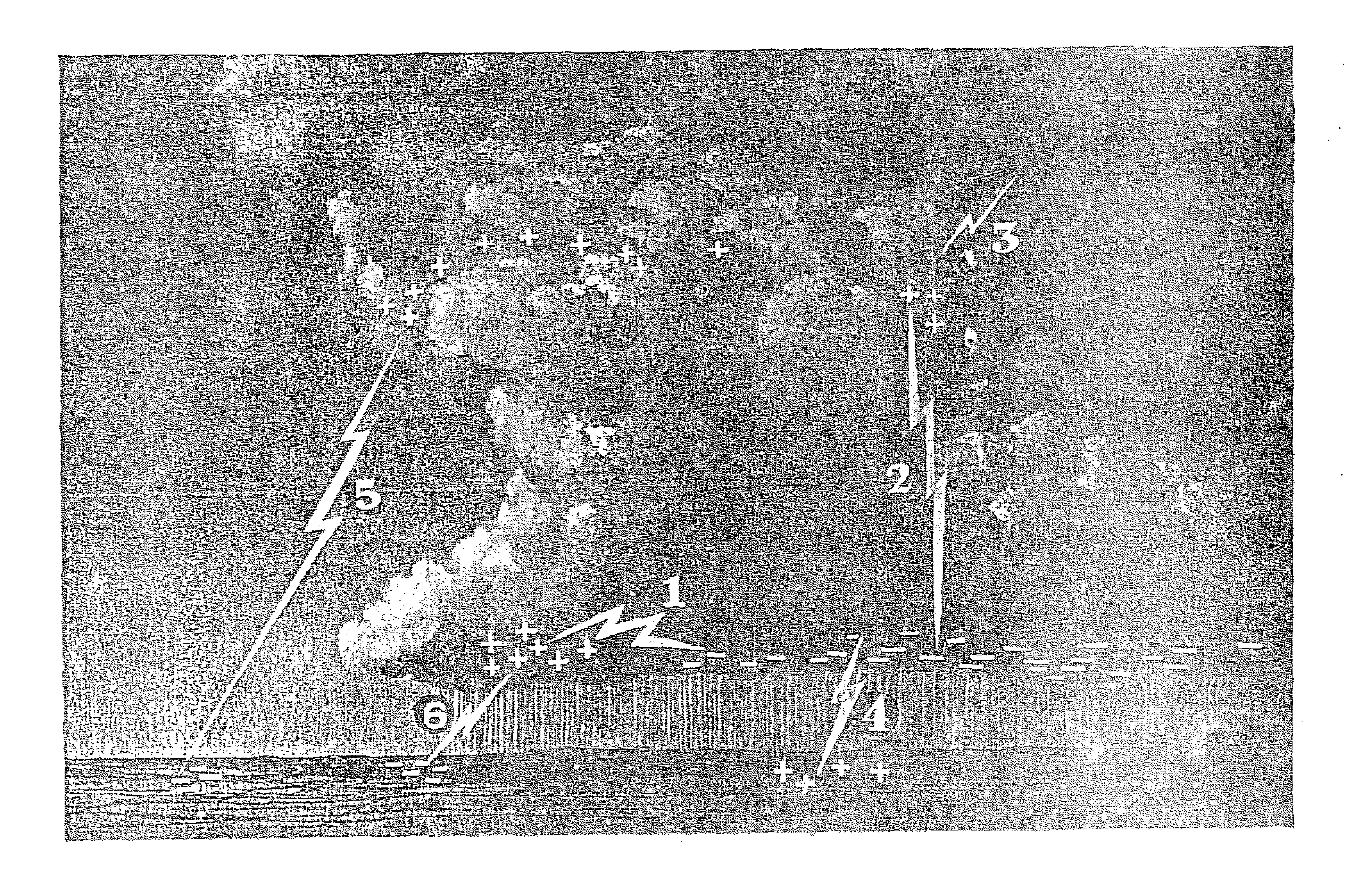
من هذا نرى أن أعاصير التورنادو تشبه المنخفضات والاعاصير المدارية فى بعض الخصائص، لكنها اقل من اى النوعين حجما، وأكثر من أى منهما فتكا وتخريبا، ومساراتها فى العادة عشوائية ومشوشة وهى لحسن الحظ قصيرة لا تزيد على ٢٠ كم، وتسير بسرعة تتروح بين ٥٠ - ٧٥ كم/ ساعة. وهى تشبه العواصف الرعدية فى مواعيد حدوثها، بين الساعة الثانية والتاسعة مساء. فقد وجد أن ٦٧٪ من أعاصير التورنادو التى ضربت الولايات المتحدة الامريكية قد حدثت بين الساعة الثانية والساعة الثامنة مساء.



شكل (٣٠) إعصار تورنادو



شكل (٣١) صُوَرُ أربع توضح حركة إعصار تورنادو



شكل (٣٢) الشحنات الكهربائية والبرق فى سحابة من نوع المزن الركامى Comulo - nimbus.

وعند حدوث التورنادو تتكون بسماء المنطقة سحب المزن الركامى السميكة المنخفضة، ويحدث أحيانا أن يتدلى منها مخروط نحو سطح البحر، يقابل ارتفاع مياه البحر المضطربة فى شكل نافورة يصل ارتفاعها أحيانا الى نحو مائة متر وقطرها نحو عشرة أمتار. ومثل هذه الاحوال تكون خطرا محدقا يهدد السفن بالاغراق فى معظم الاحيان.

وتظهر أعاصير التورنادو فى الصيف وأكثرها فى الربيع، ويصيب الولايات المتحدة نحو ١٥٠ اعصارا كل سنة فى المتوسط. ويستمر الاعصار فترة قصيرة لا تزيد على بضع ساعات، لكنه يكون عنيفا شديد التدمير، فقد يغرق السفن فى المحيط، كما يحدث فى منطقة مثلث برمودا ببحر سارجاسو بالمحيط الاطلسى جنوب شرق أمريكا الشمالية حيث يتكرر ظهور التورنادو، كما يستطيع الاعصار تحطيم المنازل واقتلاع الاشجار، ويسبب الكثير من الكوارث فوق اليابس المعمور.

عواصف الرعد والبرق

ظاهرة الرعد والبرق ظاهرة مألوفة نعرفها فى جو الشتاء بمصر، كما يعرفها طقس معظم أنحاء العالم باستثناء المناطق القطبية. وعواصف الرعد والبرق تقترن بحدوث التساقط فى سحب المزن الركامى، ولذلك يكثر حدوثها فى مناطق التيارات الهوائية الصاعدة كالجهات الاستوائية، بينما ينعدم حدوثها فى المناطق القطبية حيث التيارات الهوائية الهابطة.

وتمتاز سحب المزن الركامى بالسمك الكبير وكثرة الرطوبة وشدة اضطراب الجو. وقد تبين من دراسة تلك السحب أنها تتألف من مجموعة من خلايا الحمل Convectional التى يشتد فيها الاضطراب، ويكثر التكاثف وتكوين المطر وحبات البرد، لانها تتغذى ببخار الماء عن طريق التيارات الهوائية الرطبة الصاعدة. ولاشك أن المورد الرئيسى للطاقة فى عواصف الرعد والبرق Thunderstorms هو نشاط التيارات الهوائية الصاعدة وتكاثف بخار الماء الذى تحمله معها الى أعلى.

أسباب صعود الهواء الى أعلى :

مادامت نشأة عواصف الرعد والبرق مرتبطة بصعود الهواء الرطب المضطرب الى أعلى، فاننا نشير فيما يلى الى أسباب صعوده والمناطق التى يكثر فيها هذا الصعود الى أعلى :

١ـ التسخين الشديد للهواء المحمل بالرطوبة فوق اليابس، كما هى حال عواصف الرعد والبرق التى تحدث فى الجهات الاستوائية، وفى داخل الكتل اليابسة حيث تتوفر الحرارة والرطوبة فى النطاقات المعتدلة، خاصة بعد الظهر وفى الساعات الاولى من المساء، وتسمى عواصف الرعد الحرارية أو الانقلابية Heat or Convectional Thunderstorms .

٢ـ مرور كتل هوائية باردة على أسطح مائية دافئة، كما هى الحال فى عواصف الرعد التى تنشأ على أسطح المحيطات ليلا عندما يكون الفرق كبيرا بين حرارة الهواء وسطح الماء.

٣ـ ارتفاع الهواء المحمل بالرطوبة الى أعلى على امتداد الجبهات الهوائية فى العروض المعتدلة. وتختلف عواصف الرعد هذه عن عواصف الرعد المنفردة الناشئة عن تسخين الهواء الرطب على سطح الارض، فهذه تحدث على شكل نطاق طولى متصل يمتد فى القطاع الدافىء من المنخفضات الجوية موازيا للجبهة الباردة، ويتراوح عرضه بين ٢٥ـ٩٠كم، ويبلغ طوله عدة مئات من الكيلو مترات، وتسمى هذه باسم عواصف رعد الجبهات الهوائية Frontal Thunderstorms

٤ـ تحول كتلة هوائية من الاستقرار الى الاضطراب عند عبورها لنطاق جبلى مرتفع، خصوصا اذا تميزت بارتفاع حرارتها ورطوبتها، وتسمى حينئذ عواصف الرعد والبرق التضاريسية Orographic .

٥ـ ارتفاع الهواء الدافىء فوق الهواء البارد عند تقابل كتلتين هوائيتين مختلفتى الخصائص، وتعرف باسم عواصف رعد الكتل الهوائية Air - mass Thunderstorms .

٦ـ اندفاع الهواء الرطب بقوة وعنف فى الاعاصير المدارية الى أعلى كما يحدث فى عواصف الهاريكين والتورنادو.

٧ـ التسخين المحلى للهواء الرطب وصعوده الى أعلى بسبب النشاط البركانى. أو بسبب حدوث الحرائق الكبيرة فى الغابات





شكل (٣٣) عاصفة مصحوبة بالرعد والبرق فى مرحلتين

تفسير ظاهرة البرق و الرعد

هناك عدة نظريات تناولت تفسير سبب وكيفية حدوث عواصف البرق والرعد داخل سحب المزن الركامى. وينحصر الاختلاف بين هذه النظريات فى تعليل تكون الشحنات الكهربية الموجبة والسالبة داخل سحب المزن الركامى، وفى توزيع تلك الشحنات بداخل تلك السحب.

وتتفق جميع النظريات القديم منها والحديث فى أن **البرق** يحدث نتيجة لتفريغ كهربائى اما فى داخل السحابة المنفردة، أو فيما بين سحابتين متجاورتين، أو بين سحابة وسطح الارض، ويطلق على البرق فى الحالة الاخيرة اسم **صاعقة البرق** Strike .

وسنكتفى هنا بشرح موجز لاحدث النظريات وأقربها الى الصحة. وتربط هذه النظرية الحديثة بين الشحنات الكهربائية الموجبة والسالبة التى تتولد فى سحب المزن الركامى، وبين الشحنات الكهربائية الموجبة الموجودة فى طبقة الايونوسفير فوق ارتفاع ١٢ كم من الغلاف الجوى من جهة، وبين شحنات سطح الارض السالبة من جهة أخرى.

وقد تبين أن الشحنات الكهربائية التى تتولد فى سحب المزن الركامى تنقسم الى قسمين : الشحنات السالبة تتجمع فى القسم الاعلى من السحب، بينما تتجمع الشحنات الموجبة فى القسم السفلى من تلك السحب. وتحمل تيارات الهواء الصاعد الشحنات الكهربائية الموجبة من أسفل سحب المزن الركامى الى أعلاها حيث الشحنات السالبة، اضافة الى تأثيرات الشحنات الموجبة فى طبقة الايونوسفير على أعالى السحب، وشحنات سطح الارض السالبة على أسافلها. ونتيجة لذلك يحدث **تفريغ هوائى** داخل هذه السحب، فيحدث **البرق**.

ويأخذ وميض البرق عدة أشكال، فقد يتشعب أو يتعرج، وقد يكون بهيئة اقلام مصفوفة، أو يكون شريطيا أو بهيئة كرات كبيرة الحجم مضيئة.

ويحدث البرق والرعد فى وقت واحد تقريبا، فهما يتعاصران، لكن لأن سرعة الضوء (مقدارها ٣٠٠ الف كيلو متر فى الثانية) أكبر كثيرا من سرعة الصوت (٣٣٠ مترا فقط فى الثانية)، فان المشاهد حين العاصفة يرى البرق أولا، ثم يسمع الرعد بعد ذلك بعدة ثوان، وكثيرا ما يعقب الرعد هطول المطر، الذى يساعد على هدوء العاصفة، وذلك لانه يلطف حرارة سطح الارض. فتقل لذلك التيارات الهوائية الصاعدة.

ويحدث **الرعد** عقب بدء البرق مباشرة بسبب التمدد الفجائى للهواء الذى ترتفع حرارته ارتفاعا كبيرا وبشكل فجائى بفعل البرق. وتتولد فى الهواء المتمدد على هذا النحو سلسلة من موجات التضاغط والتخلخل التى

تنعكس على أسافل السحب وقمم المرتفعات، فتحدث فرقعة أو فرقعات متتالية تعرف **بالرعد**.

هذا وقد تبين من مختلف الدراسات أن عواصف الرعد تزيد فى المدن عنها فى الريف، ويرجع ذلك الى شدة اضطراب الجو فى المدن، وارتفاع نسبة التلوث بالشوائب. كما أن متوسط أيام حدوثها يختلف من منطقة لأخرى. والجهات الإستوائية هى أكثر جهات العالم تعرضا لحدوثها، بسبب شدة نشاط التيارات الهوائية الرطبة الصاعدة. ويبلغ متوسط عدد أيام حدوث تلك العواصف فيها نحو ٨٠ يوما فى السنة، تزداد فى مناطق الجزر الاستوائية، فيبلغ نصيب جزيرة جاوه منها ٢٠٠ يوم كل سنة، وتشهد مدن الشمال المصرى أكثر من عاصفة رعد وبرق كل عام فى الخريف والشتاء.

الباب الثالث

الغلاف المائى

الفصل الخامس : التوزيع ـ منشأ المياه ـ خصائص المياه .

الفصل السادس : الإنتفاع بالمحيط وكوارث تلوث مياهه

الفصل السابع : حركات المياه : الأمواج ـ المد والجزر ـ الكوارث التى تنشأ عنها

الفصل الثامن : حركات المياه : التيارات البحرية وكوارثها .

الفصل التاسع : قاع المحيط : تضاريسه ـ قوى ما تحت القاع وكوارثها.

الفصل الخامس

الغلاف المـــائى

توزيعه ـ منشأ المياه ـ خصائص المياه

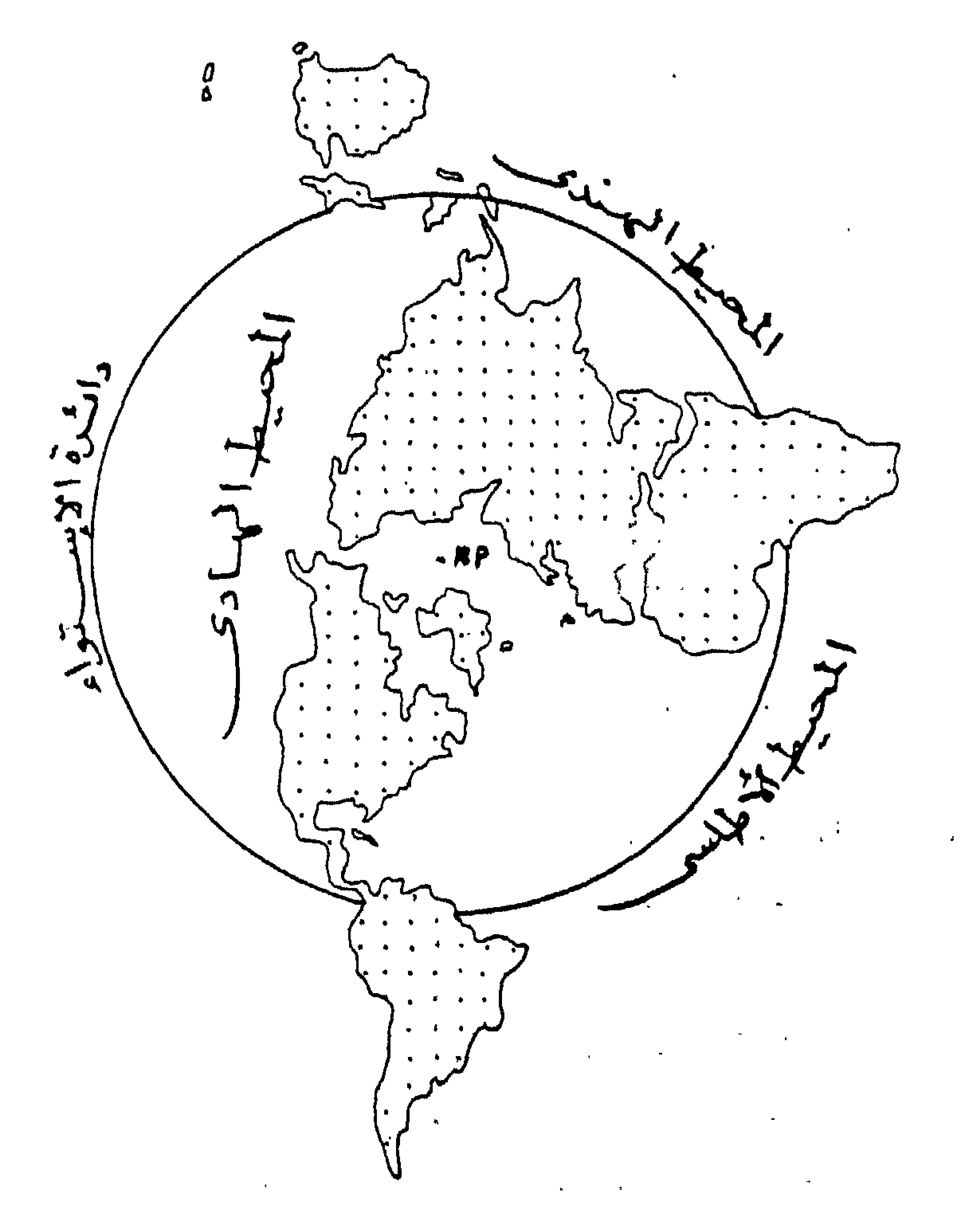
توزيع الغلاف المائى

حين ننظر إلى خريطة لتوزيع اليابس والماء حالياً سنجد أن ذلك التوزيع غير منتظم فى نصفى الكرة ، ولا يتفق إطلاقاً مع النسبة العامة للمساحات اليابسة والمائية على سطح الأرض . فإلى الشمال من الدائرة الإستوائية نجد أن نسبة المسطحات المائية تبلغ ٧, ٦٠٪ وهى دون النسبة العامة للماء التى تبلغ ٨, ٧٠٪ . أما إلى الجنوب من خط الإستواء فإن نسبة الماء تزداد وتتفوق على النسبة العامة فتصل إلى ٩, ٨٠٪ .

ولهذا نجد أن ٤٣٪ من بحار العالم ومحيطاته توجد فى النصف الشمالى من الكرة الأرضية ، بينما يوجد منها ٧٥٪ فى النصف الجنوبى. كما نجد أن نحو ٧٥٪ من يابس العالم يتركز إلى الشمال من خط الأستواء وخاصة حول المحيط المتجمد الشمالى ، بينما يوجد منه ٢٥٪ إلى الجنوب من ذلك الخط .

وإذا قسمنا سطح الكرة الأرضية إلى نطاقات يشغل كل منها خمس دوائر عرضية ، فإننا نجد أن توزيع اليابس والماء فى النطاق الذى يقع بين دائرتى عرض ١٥° و ٢٠° شمالاً يماثل متوسط توزيع اليابس والماء على سطح الأرض. وفى النطاق الذى يقع بين خطى عرض ٢٠°و٧٥° شمالاً نجد أن مساحة الماء أقل بكثير من متوسط التوزيع العام . وفيما بين دائرتى عرض ٤٥°و٧٠°شمالاً تزيد مساحة اليابس على مساحة الماء ، إذ لا تصل مساحة المياه فى ذلك النطاق إلى نصف مساحته الكلية ، ويسود وجود الماء فى النطاقات الإستوائية والمدارية إذ يشغل من مساحتها نحو ٧٥٪ .

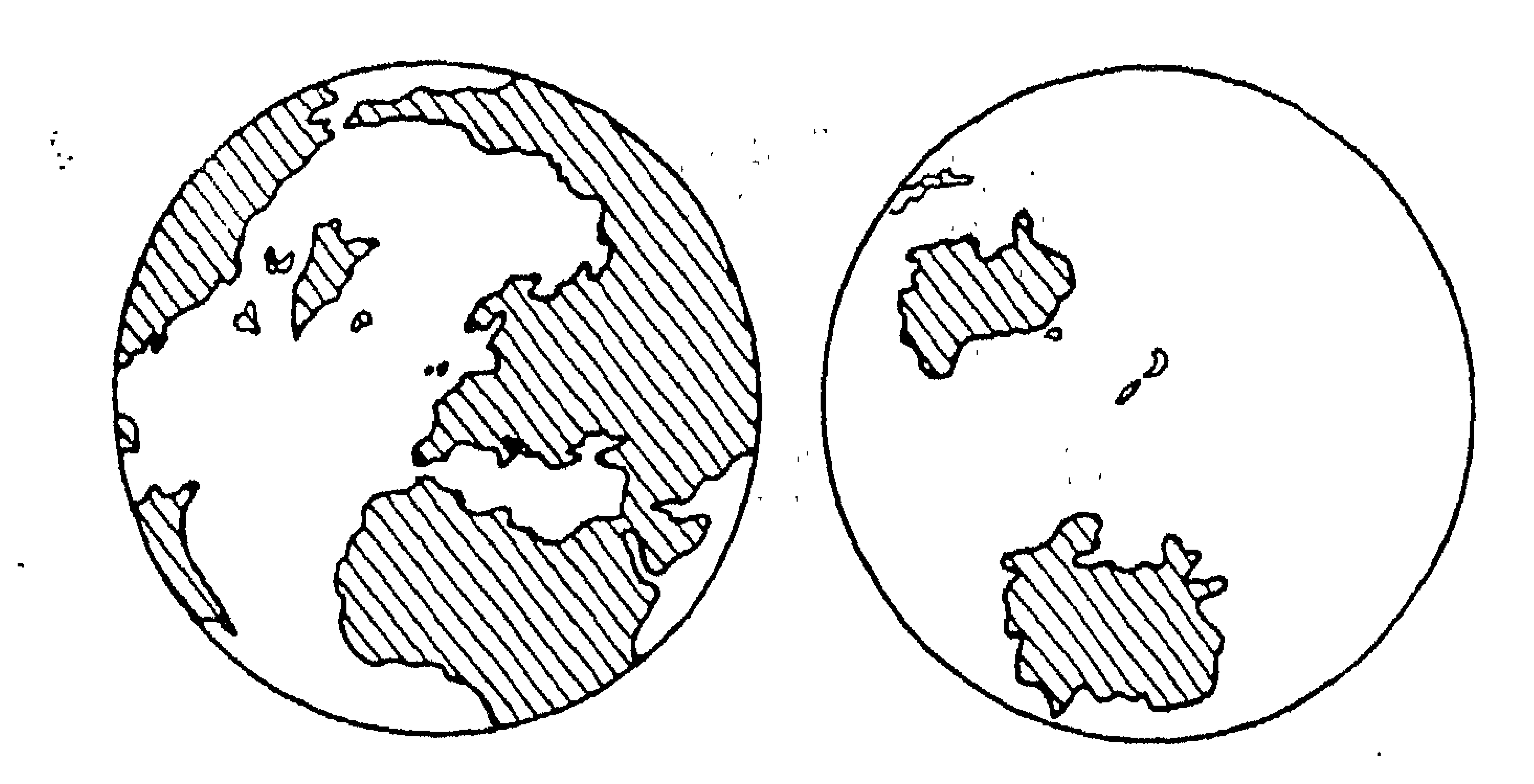
أما إلى الجنوب من دائرة العرض ٣٥°جنوباً حيث ينتهى اليابس الإفريقى والأسترالى، فإن المسطحات المائية تغطى تسعة أعشار المساحة



شكل (٣٤) توزيع اليابس والماء

نظرة إلى الكرة الأرضية من نقطة فوق القطب الشمالى للكرة الأرضية . (مسقط رسم قطبى يحقق المسافات المتساوية) . يوضح الرسم احتشاد الكتل اليابسة حول القطب الشمالى للأرض . وتمتد الكتل اليابسة بشكل يقسم المسطحات المائية العالمية إلى ثلاثة أقسام ضخمة هى : المحيط الهادى، والمحيط الأطلسى ، والمحيط الهندى .

الكلية . وفيما بين دائرتى عرض ٥٦° و٦٠° جنوباً لانجد سوى الماء ، هذا إذا إستثنينا مجموعة جزر ساندويتش الجنوبية Sout Sandwich الصغيرة المساحة .



شكل (٣٥) : نصف الكرة المائى ، إلى اليمين

نصف الكرة اليابس ، إلى اليسار .

يشير تعبير « نصف الكرة المائى » إلى ذلك النصف من سطح الأرض الذى يحتوى على أكبر نسبة ممكنة من الغلاف المائى . ومركز هذا النصف المائى يقع قرب « الجزيرة الجنوبية » من جزر نيوزيلندا وتشغل المياه نحو ٩٠٪ من مساحته .

ويقصد بتعبير « نصف الكرة اليابس » ذلك النصف من سطح الأرض الذى يشمل أكبر نسبة ممكنة من الكتل القارية . ويقع مركزه عند مصب نهر اللوار بأقليم بريتانى غرب فرنسا .

هذا ويقسم سطح الأرض أيضاً من حيث توزيع اليابس والماء إلى نصفين : غربى وشرقى . فى النصف الغربى يشيع وجود الماء إذ تصل نسبته إلى ٨١,٢٪ ، وفى النصف الشرقى تقل تلك النسبة وتهبط إلى ٦٢,١٪ .

من هذا نرى أن أعظم قسم من المسطحات المائية يوجد فى غرب الأرض وجنوبها ، بينما يتركز أعظم قسم من الكتل اليابسة فى شرق الأرض وشمالها .

وهناك محاولة أخرى لتقسيم سطح الكرة الأرضية إلى شطرين : أحدهما يشتمل على المساحة الكبرى من اليابس ويسمى « بالنصف القارى » ويقع مركزه حوالى مصب نهر اللوار فى غرب فرنسا ، وفيه يتركز نحو ٨٣٪ من المساحة الكلية للكتل القارية . أما الثانى فيشتمل



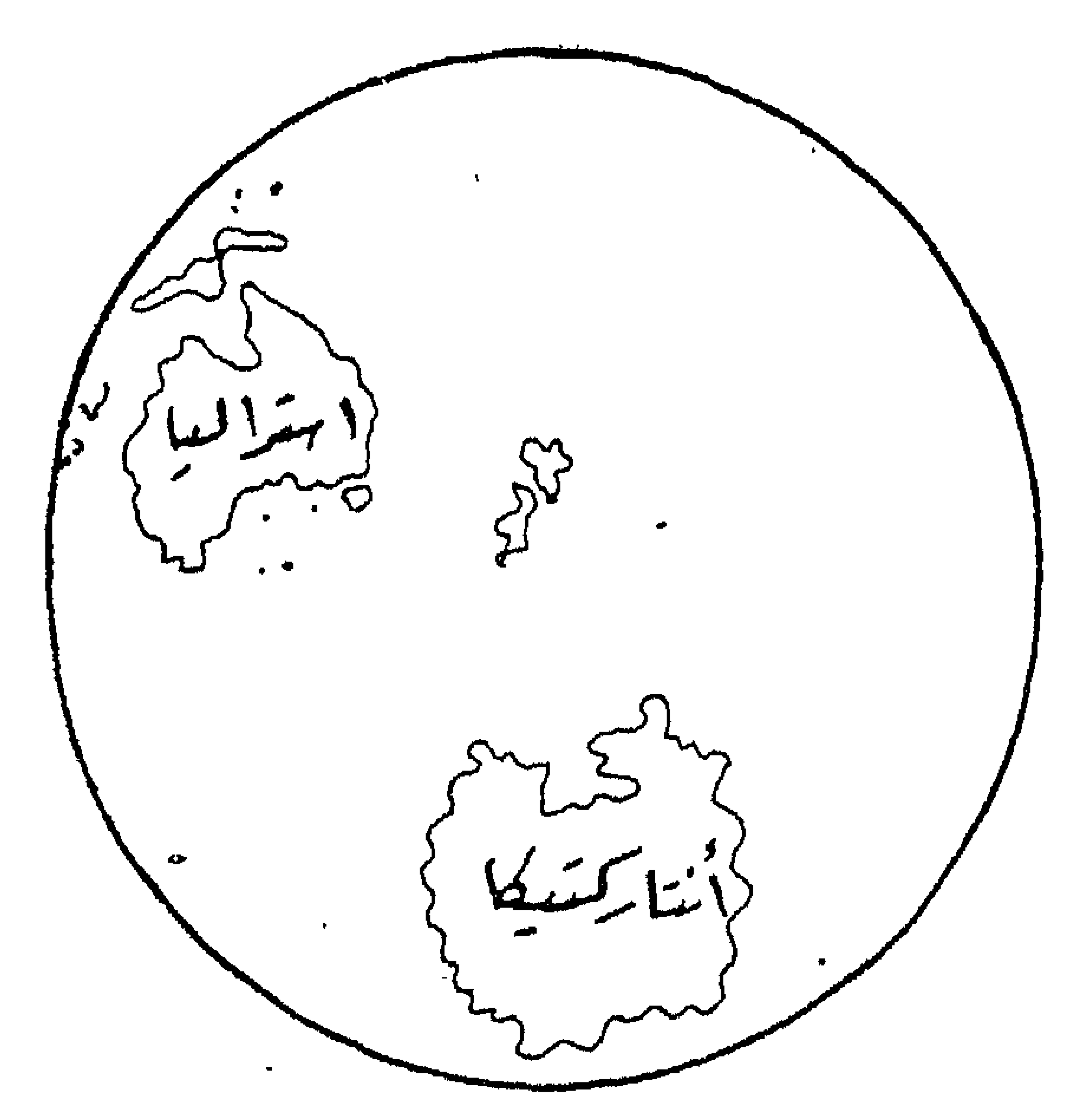
شكل (٣٦) مركز النصف القارى من الكرة الأرضية

على المساحة الكبرى من المياه ويسمى لذلك « بالنصف المائى » ويقع مركزه عند جزر الأنتيبود Antipodes إلى الجنوب الشرقى من نيوزيلندا ، وفيه تبلغ نسبة مساحة المياه ٥, ٩٠٪ .

ويمكن إعتبار النصف القارى (شكل ٣٦) بمثابة دائرة يقع مركزها على الساحل الفرنسى قرب بلدة كروازيك Croisic عند مصب نهر اللوار .

وفى هذا النصف الذى ندعوه بالنصف القارى نجد أن مساحة الماء ما تزال تفوق مساحة اليابس ، إذ تبلغ النسبة بينهما ٧, ٥٢٪ : ٣, ٤٧٪ ويشمل هذا النصف قارات أوربا وآسيا وأفريقيا وأمريكا الشمالية والقسم الشمالى من أمريكا الجنوبية ، هذا عدا الجزر التى تنتشر فى المسطحات المائية التى تتداخل فى تلك الكتل القارية وتفصل بينها .

أما النصف المائى (شكل ٣٧) فتبلغ فيه مساحة الماء ٥, ٩٠٪ . بينما تبلغ مساحة اليابس ٥, ٩٪ فقط ، وتتمثل هذه المساحة اليابسة فى قارة أستراليا وجزر أندونسيا والقسم الجنوبى من قارة أمريكا الجنوبية ثم القارة القطبية الجنوبية والجزر المنتشرة فى المسطحات المائية التى تتبع ذلك النصف المائى من وجه الأرض .

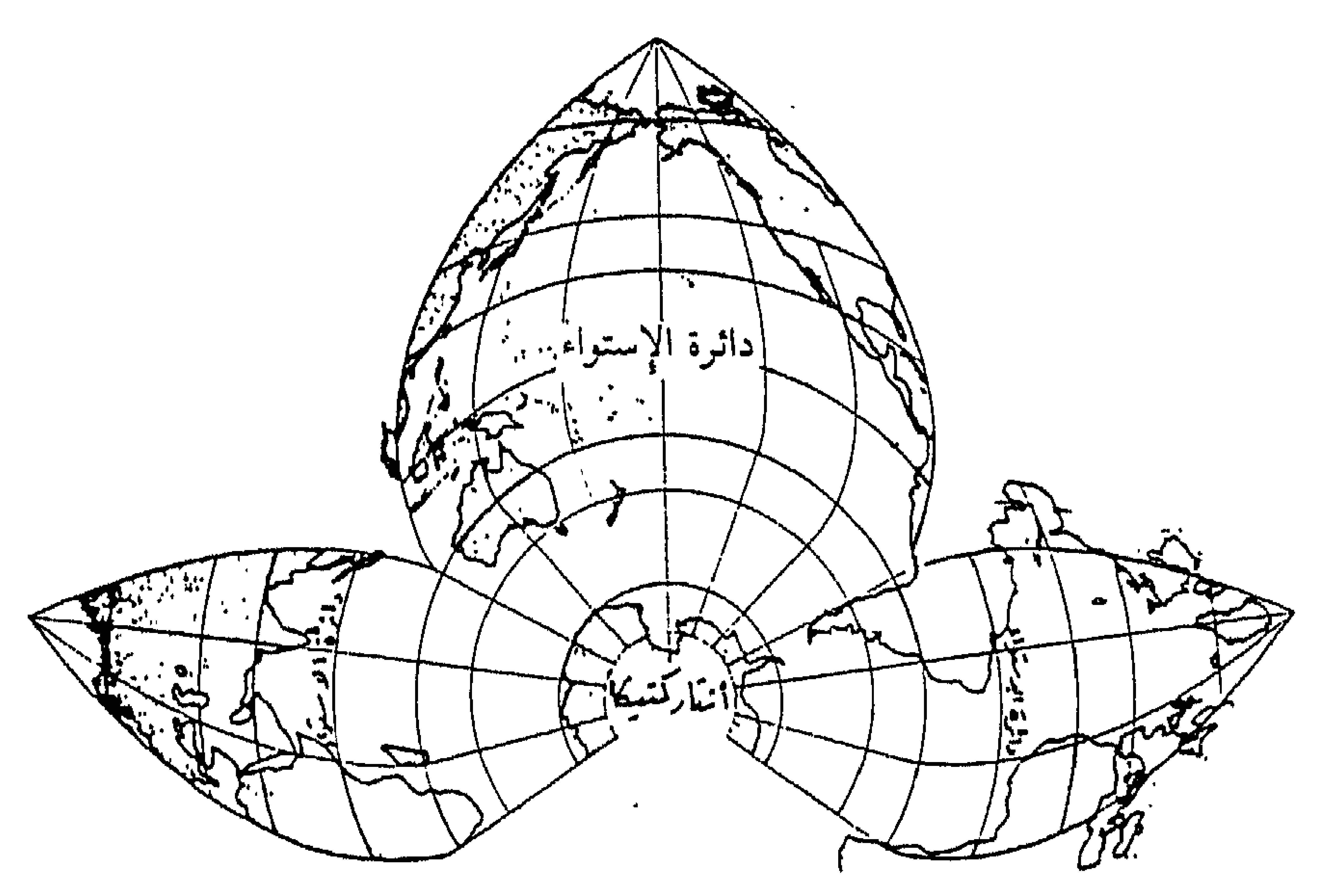


شكل (٣٧) مركز النصف المائى من الكرة الأرضية

هذا وتُقسّم المسطحات المائية إلى ثلاثة محيطات ضخمة هى : المحيط الهادى والأطلسى والهندى ، وتتصل ببعضها بفتحات واسعة . أما المحيط الجنوبى ـ ويشمل المسطحات المائية من المحيط الهادى والأطلسى والهندى التى تقع إلى الجنوب من دائرة عرض ٦٠°جنوباً ـ فيرى الكثير من

كتلة وتوزيع الغلاف المائى

	كتلة (١٠^١٥ طن)	النسبة المئوية (٪)
ماء البحر	١٤١٠	٨٦,٥
بحيرات وأنهار	٠,٥	٠,٠٣
جليد برّى (فوق اليابس)	٢٢, -	١,٣
بخار الماء فى الغلاف الجوى	٠,٠١٣	٠,٠٠١
الماء فى الرواسب وفى الصخور الرسوبية	٢٠٠, -	١٢,٢
الجملة	١٦٣٢, -	٪ ١٠٠



شكل (٣٨) : يتألف المحيط العالمى من ثلاثة افرع رئيسية تمتد شمالا من حلقة يابسة تحيط بالقطب الجنوبى حول قارة أنتاركتيكا . والفرع الأطلسى هو أطول الأفرع الثلاثة : إذ أنه يمتد بلا إنقطاع من هامش القارة القطبية الجنوبية حتى البحر (المحيط) المتجمد الشمالى . أما الذراع أو الفرع الهادى (الباسفيكى) فيمتد شمالا حتى يصل إلى بحر بيرنج Behring ، ولما كان هذا الممر المائى ضحلاً ، فإنه يفصل المحيط الهادى عن البحر القطبى . ورغم اختصار امتداده فى البحر المتجمد الشمالى واقتطاعه منه ، فإن مساحة المحيط الهادى ، نظراً لعظم اتساعه ، تبلغ ثلث مساحة الكرة الأرضية . ويمثل فرع المحيط الهندى أقصر الأفرع الثلاثة ، ومساحته تبلغ سبع مساحة الكرة الأرضية . وتقع معظم هذا السبع فى النطاق المدارى ، متاخماً لأعظم كتلة يابسة فى العالم ، لهذا فإن هذه الكتلة تمارس تأثيراً فعالا فى دورته المائية . أما المحيط الأطلسى فتبلغ مساحته خمس مساحة الكرة الأرضية . وهو يبدو بهيئة ممر مائى فسيح ، تتعرض خصائص مياهه للتغير التدريجى لأحوال المناخ من الجنوب إلى الشمال مع دوائر العرض .

مساحات وأعماق المحيطات

المساحة المحيطية	المساحة المائية		اليابس ذو التصريف الخارجى باستثناء أنتاركتيكا		ماء	متوسط العمق	
	١٠ ٦ كم٢	١٠ ٦ ميل٢	١٠ ٦ كم٢	١٠ ٦ ميل٢	يابس	كيلو متر	ميل
الهادى	١٨٠	٦٩,٥	١٨	٦,٩٥	١٠	٣,٩٤	٢,٤٤
الأطلسى (ومعه البحر المتوسط والمحيط القطبى والبحر الأسود)	١٠٧	٤١,٣	٦٧	٢٥,٨	١,٦	٣,٣١	٢,٠٦
الهندى	٧٤	٢٨,٦	١٧	٦,٥٧	٤,٣	٣,٨٤	٢,٣٨
محيطات العالم (مجموع)	٣٦١	١٣٩	١٠٢	٣٩,٤	٣,٦	٣,٧٣	٢,٣٢

المشتغلين بعلوم البحار عدم فصله عن المحيطات الثلاثة ، فهو يعتبر إمتداداً لها نحو الجنوب . وأما المحيط المتجمد الشمالى فيمكن إعتباره بحراً لصغر مساحته نسبياً .

منشأ مياه البحار والمحيطات

استطاع كونين Kuenen فى عام ١٩٥٠ تقدير الحجم الكلى لمياه البحار والمحيطات فى وقتنا الحاضر ، ووجد أنها تناهز ١٣٧٠ × ١٠^٦ كيلو مترا مكعباً . ولا شك أن المسائل الخاصة بمصدر هذه المياه ، ومعدلات تجمعها فى الأحواض المحيطيّة ، جديرة بالبحث والتفسير . وهناك اتفاق عام على أن المياه المحيطية الحالية ذات أصل واحد ؛ يتمثل فيما يُسمى « المياه الأصلية » Juvenile Water ، وهى المياه التى دخلت منذ البداية فيما يُسمى « بالدورة المائية » Hydrological cycle ، وهى التى أنشأت المخزن الهائل للمورد المائى المحيطى خلال الأزمنة والأعصر الجيولوجية .

ويتمثل مصدر « المياه الأصلية » فى الصخور النارية ، سواء منها ما يتداخل خلال قشرة الأرض ، وما ينبثق طافحاً على سطحها فى هيئة براكين . فهى تفرز من بخار الماء ، الذى يتكاثف ، الشئ الكثير . ويقدر ما يضاف إلى مياه البحار والمحيطات من هذه المياه الأصلية عن طريق التداخل الصهيرى ، والطفح البركانى ، فى وقتنا الحالى نحو ٠,١ كيلو متر مكعب فى السنة . وذلك أن النشاط البركانى العالمى ، وعمليات التداخل الصهيرى النارى تنتج مجتمعة مايُقدر بنحو ٢ كيلو متر مكعب من الصخور فى كل عام . وتبلغ كمية المياه التى تُفرزها هذه الصخور حينما تبرد نحو ٥ ٪ من حجمها الكلى . وهذه النسبة توازى ٠,١ كيلو متر مكعب من المياه سنوياً.

وإذا ما حسبنا كميات المياه التى أضيفت لمياه المحيطات خلال الستمائة (٦٠٠) مليون سنة الأخيرة ، منذ بداية العصر الكمبرى . بمعدل الزيادة الحالية (٠,١ مليون كم^٣) ، فإننا نصل إلى الرقم ٦٠ × ١٠^٦ كيلو متر مكعب ، أى ٦٠ مليون كيلو متر مكعب . معنى هذا أن كمية المياه التى

كانت موجودة فى المحيطات عند بداية العصر الكمبرى ، كانت تصل إلى ١٣١٠ مليون كيلو متر مكعب (الكمية الحالية ١٣٧٠ مليون كم٣ مطروح منها ٦٠ مليون كم٣) ، هذا إذا كانت هذه الأسس الحسابية مقبولة . والواقع أن ما يمكن أن يُثار من شكوك ، فإنها تتعلق بالنشاط النارى البلوتونى والبركانى ، الذى كان حادثاً أثناء هذه الفترة الزمنية الطويلة من تطور ونمو الكرة الأرضية .

وإذا ما أخذنا المعدل الحالى لإنتاج المياه من النشاط النارى ، فلعله يكون أفضل معدل يمكن اعتباره أساساً للتقدير العام ، ذلك أنه رغم ازدياد النشاط النارى الجوفى والطفحى فى بعض الأعصر عنه فى وقتنا الحاضر، فإنه كان يتسم بالهدوء فى أعصر أخرى . معنى هذا أنه يمكن القول ، بصورة تقريبية عامة ، أن المحيطات كانت تحوى نفس القدر من المياه منذ بداية الزمن الجيولوجى الأول .

وهناك من الباحثين من لايرتضى هذا التفسير لنشأة مياه البحار والمحيطات . وقد اقترح توين هوفيل Twenhofel أن كمية المياه فى المحيطات كانت تزداد باستمرار وثبات خلال العمر الجيولوجى للأرض كله، لكن معدل الزيادة اشتد خلال الزمن الجيولوجى الثانى (الميزوزوى). بينما يرى كونين Kuenen ، أن معدل الزيادة فى كميات المياه المنصرفة إلى الأحواض المحيطية كان كبيراً وسريعاً جداً فى المراحل الأولى من تاريخ الأرض ، لكن هذا المعدل قد اضمحل ، وتناقص إلى القدر السالف الذكر (وهو ٠,١ كيلو متر مكعب فى العام) خلال الألف (١٠٠٠) مليون سنة الأخيرة .

ولقد ذهب والتر Walther إلى أبعد مما أرتأى توين هوفيل Twenhofel ، عندما قال بأن المحيطات لم تحو من المياه سوى القليل قبل بداية الزمن الثانى (منذ مائتى مليون سنة) ، وما إن حل الزمن الثانى حتى إزدادت المياه الواردة إليها زيادة عظيمة . ويبرهن على ذلك بانعدام وجود أحياء حيوانية للقاع المحيطى العميق فى سجل الحفريات ، حتى

فيما بعد الزمن الجيولوجى الأول (الباليوزوى) . وتبعا لذلك وصل إلى القول بأن بيئة القاع المحيطى العميق لم يكن لها وجود قبل الزمن الثانى.

ومثل هذا القول مردود عليه ، عن طريق تفسيرات أخرى مقنعة لامتناع وجود حفريات حيوانية فى القاع العميق قبل الزمن الثانى . ذلك أن رواسب القاع العميق نادرة الوجود على اليابس ، وتبعاً لذلك لا يمكن توقع وجود حفريات له فى السجل الحفرى . ولقد يعزز هذا ، احتمال كبير آخر ، أن أحوال المناخ آنذاك لم تكن مواتية لتكوين مياه باردة عميقة فى العروض العليا ، ومن ثم كانت الدورة المائية المحيطية من الضعف بحيث كانت الأحواض المائية المحيطية راكدة ، وغير مناسبة لحياة مخلوقات القاع العميق .

ويمكن القول بصورة عامة ، كما ترى كنج C.A.M. King ، أن المحتوى المائى للمحيطات لم يتغير كثيراً أثناء الزمن الجيولوجى الأول وفيما بعده من أزمنة . والقدر المائى المقترح الآنف الذكر (٦٠ مليون كيلو متر مكعب) كاف لرفع منسوب المياه المحيطية بمقدار يناهز ١٢٢ مترا (٤٠٠ قدم) . معنى هذا أن الأحواض المحيطية كانت موجودة بأبعادها الحالية ، أو ما يقرب منها ، لكى تستوعب هذا الحجم من المياه .

ويحوى المحيط الهادى وحده نحو نصف كمية المياه الموجودة بالمحيطات الحالية كلها . معنى هذا أن المحيط الهادى كان فى غابر الزمن من الكبر والاتساع بحيث استوعب كل هذه المياه وحده ، بافتراض عدم وجود المحيطات الأخرى ، ومنها الأطلسى ، أو أن المحيطات الأخرى كانت موجودة أيضاً آنذاك . وينبنى هذا القول على واقع أن مستوى البحر لليابس لم يتغير تغيراً جوهرياً خلال المدة المذكورة . حقيقة أن قد حدث خلال هذه الفترة ، الممتدة من الزمن الأول حتى وقتنا الحاضر ، تغيرات ترتب عليها أن أصبح جزء أو أجزاء من المحيطات الحالية ضمن اليابس فى أوقات معلومة ، وانغمرت هوامش الكتل القارية الحالية بمياه بحرية كبرى وسيطة Geosynclines ، وأحدثت الحركات التكتونية ارتفاعات هـ ، ،

وانخفاضات هناك . لكن عموما ظل منسوب البحر العالمى كما هو دون تغيير كبير .

خصائص مياه البحار والمحيطات

تتميز مياه البحار عن المياه العذبة بملوحتها ومذاقها المر ، ولذا فهى صالحة للشرب والاستعمالات المنزلية ، ويرجع سبب هذا المذاق المر إلى وجود أملاح معينة فى حالة ذائبة ، وأهم تلك الأملاح الذائبة هى ملح الطعام ، وكلوريد المغنسيوم ، وكبريتات المغنسيوم ، وكبريتات الكلسيوم. ولهذا نجد أن مياه البحر أثقل من المياه العذبة ، وتأثيرها قلوى. وكمية الأملاح فى مياه البحار ثابتة إلى حد كبير ، وخاصة فى المسطحات المائية البعيدة عن اليابس . وتقدر كمية الأملاح بحوالى ٣٤,٣٣ جرام فى كل ١٠٠٠ جرام من مياه البحر وعلى هذا نجد أن نسبة الملوحة تبلغ حوالى ٣,٤٪ . ومياه البحر تمثل بيئة صالحة لنمو العضويات سواء كانت حيوانية أو نباتية . ويستطيع النبات ، مع تأثير ضوء الشمس ، أن يعمل على تحويل مواد عضوية إلى مواد غير عضوية ، أو أن يكون موادا عضوية من المواد غير العضوية ، ولذا فإن النبات يلعب دوراً كبيراً فى دورة الغذاء فى مياه البحار .

الأملاح فى مياه البحر

لقد ثبت وجود الكثير من العناصر الكيماوية المعروفة فى مياه البحر، وبتقدم وسائل الإختبار قد يثبت وجود كل العناصر الكيماوية المعروفة . وأهم تلك العناصر سبعة رئيسية هى :

الكلورين Chlorine – البرومين Bromine – الكبريت Sulphur

البوتاسيوم Potassium – الصوديوم Sodium – الكلسيوم Calcium

المغنسيوم Megnesium

وقد وجد أن ماء البحر العادى ، الذى يحوى ملوحة مقدارها ٣٤,٣٣

جرام لكل ألف جرام بالوزن يحتوى على :

١٨,٩٨٠ جرام لكل كيلو جرام من الكلورين .

١٠,٥٦١ جرام لكل كيلو جرام من الصوديوم .

وهما العنصران اللذان يؤلفان الملح العادى (ملح الطعام) فى مياه البحر .

١٢٧٢ مليجرام لكل كيلو جرام (أو أجزاء من المليون) من المغنسيوم.

٨٨٤ مليجرام لكل كيلو جرام (أو أجزاء من المليون) من الكبريت .

٤٠٠ مليجرام لكل كيلو جرام (أو أجزاء من المليون) من الكالسيوم.

٣٨٠ مليجرام لكل كيلو جرام (أو أجزاء من المليون) من البوتاسيوم.

ورغم أن نسب العناصر الأخرى منخفضة جداً ، إلا أن مجرد اثر لوجودها له قيمة كبيرة من الوجهة الحيوية ، بل ومن الوجهة التجارية . وتوجد الفضة بنسبة ٠,٣ مليجرام لكل طن (أجزاء لكل ألف مليون) ، والذهب ٠,٠٠٦ مليجرام لكل طن ، والراديوم ٠,٠٠٠٠٠٠٢ مليجرام لكل طن ، وهى نسب كما ترى ضئيلة للغاية . وتبقى نسب مختلف العناصر الأساسية ثابتة فى مياه البحر من مختلف جهاته ، حتى مع اختلاف الملوحة الكلية .

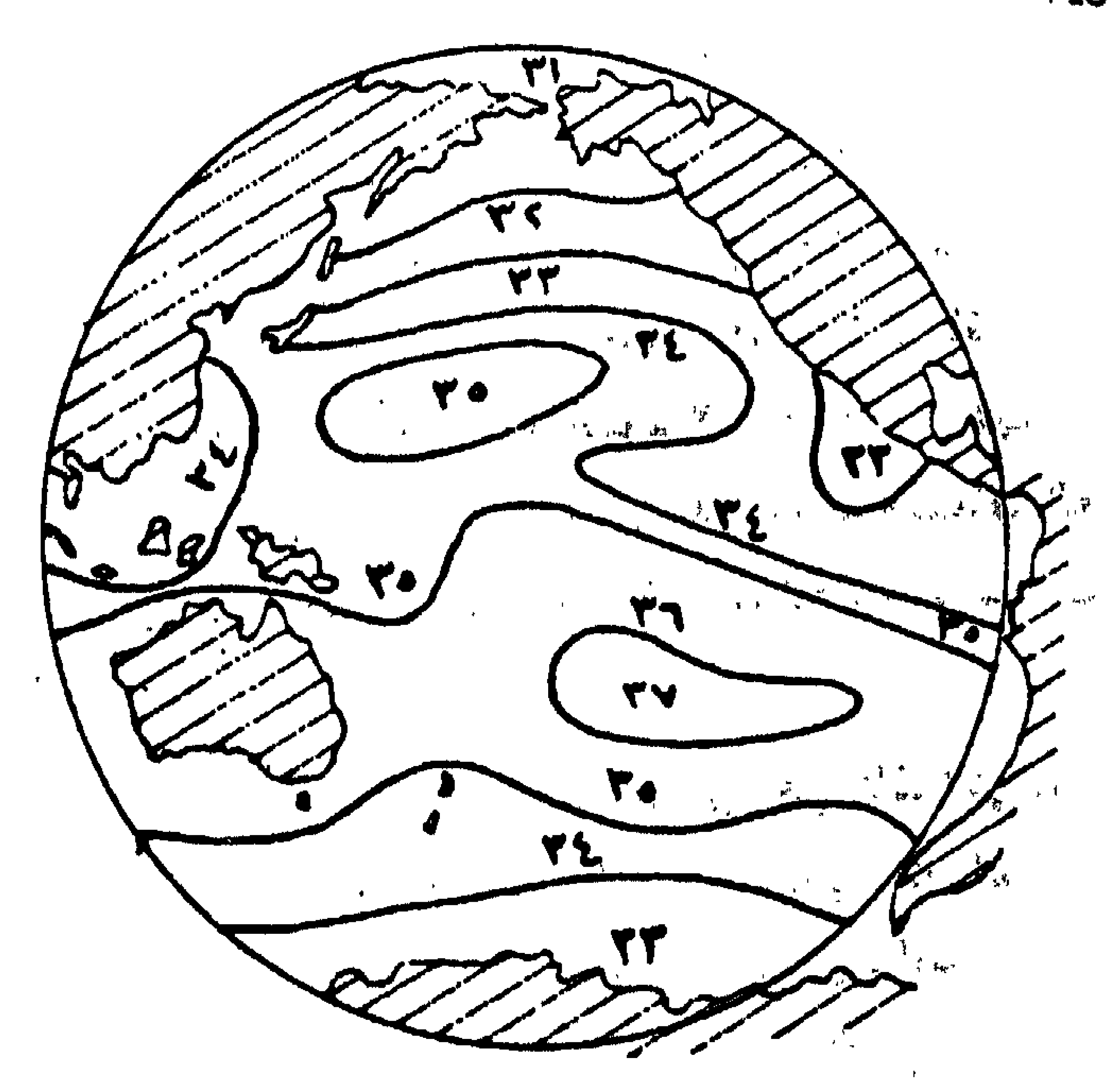
إن بعض العناصر الهامة فى مياه البحر ، هى تلك التى تستفيد منها الكائنات العضوية لنموها أو للتكاثر ، وتسمى بالعناصر المغذية Nutrients . وهى تكثر حيثما تقل العضويات ، وتقل بالطبع حيث تكثر المخلوقات التى تتغذى بها . والعناصر المغذية تتضمن الآتى :

السيليكون ومقداره يتراوح بين صفر ـ ٤ مليجرام لكل كيلو جرام.

النيتروجين ومقداره يتراوح بين صفر ـ ٠,٧ مليجرام لكل كيلو جرام .

الفوسفور ومقداره يتراوح بين صفر ـ ٠,١ مليجرام لكل كيلو جرام .

وهناك عناصر أخرى تدخل ضمن العناصر المغذية ، لكن بنسب ضئيلة منها ، الزرنيخ ، والحديد ، والمنجنيز ، والنحاس . ويصبح البحر أجرد ، خالياً من المخلوقات ، لو حدث واستهلك كل الأوكسجين المذاب ، والنيترات ، والسليكات ، الضرورية للحياة فى البحر ، ولم يحدث لتلك العناصر إحلال وإبدال . لكن حيث تتجدد المياه ، عن طريق التقليب وصعود المياه السفلى ، يصبح البحر خصباً غنياً بالمخلوقات . وتبدو الأصقاع البحرية الغنية بكائناتها الحية بلون أزرق ضارب للإخضرار ، بسبب وجود أعداد هائلة من تلك الكائنات ، بينما يدل لون المياه الزرقاء الصافية ، فى بعض المناطق البحرية المدارية على الجدب وندرة المواد العضوية .



شكل (٣٩) الملوحة فى المحيط الهادى

يلاحظ من خطوط الملوحة المتساوية فى المحيط الهادى ، أن الملوحة تتناقص ، وتبلغ أدنى حد فى الجهات القطبية الشمالية ، حيث تتراوح الملوحة بين ٣١ ـ ٣٣ فى الألف فى البحار القطبية . ونسبة الملوحة منخفضة أيضاً فى المياة المحيطة بالقارة القطبية الجنوبية ، فهى تبلغ نحو ٣٤ فى الألف .

والجدول التالى يبين النسب المئوية للأملاح فى مياه البحر وهى نتائج تحليلات قام بها W. Dittmer (لعينات من مياه البحر أخذت من جهات مختلفة من المسطحات المحيطية) وكذلك تحليلات أخرى لعينات جمعها Froch Hammer من مياه أواسط المحيط الأطلسى :

النسب المئوية لكل ملح منسوبة لمجموع الأملاح

الأمـــلاح	تحليلات فورش هامر	تحليلات ديتمار
ملح الطعام	٧٨,٣٢٪	٧٧,٧٥٨٪
كلوريد المغنسيوم	٩,٤٤	١٠,٨٧٨
كبريتات المغنسيوم	٦,٤٠	٤,٧٣٧
كبريتات الكالسيوم	٣,٩٤	٣,٦٠٠
كبريتات البوتاسيوم	—	٣,٤٦٥
كربونات الكالسيوم	—	٠,٣٤٥
بروميد المغنسيوم	—	٠,٢١٧

يلاحظ من الجدول السابق أن هناك بعض الاختلافات الواضحة فى نتائج التحليلات . ولكن هذا يرجع فى معظمه إلى طريقة التحليل نفسها ، وإلى الإعتبارات الأخرى التى يتبعها الباحث عند القيام بعملية التحليل . وعموماً فإن الصلة القائمة بين الأملاح ثابتة كما يقرر الباحثون . وعلى الرغم من أن عينات مياه البحر لا يمكن أن تتماثل فى نتائج تحليلها ، إلا أن هناك تشابها واضحاً فى العينات فى مختلف جهات المسطحات البحرية. فالعناصر التى يقررها التحليل لعينة نجدها فى نتائج تحليل أخرى . كما أن النسب بين تلك العناصر تكاد تتماثل فى كل العينات .

وتقدر كمية الأملاح التى تحتويها مياه البحار والمحيطات لو تبخرت تلك المياه بنحو ٢,١٨ × ١٠^١٦ متر مكعب ، ولو فرشت تلك الكمية على

قيعان البحار والمحيطات لغطتها لسمك يبلغ نحو ٦٠ متراً (نحو ٢٠٠ قدم) ، وتقدر تلك الكتلة الملحية بمقدار يزيد على كتلة القارة الافريقية (بما فيها مدغشقر) ، أو قدر كتلة أوربا ثلاث مرات ، أو ما يقرب من نصف كتلة اليابس الآسيوى . وتحوى مياه البحار والمحيطات من المغنسيوم مالو فُرش على السطح الجاف للأرض ، لغطاه بسمك ٦ متر (٢٠ قدم) ، وذلك حسب تقديرات الباحث كروميل Kruemmel .

الغازات الجوية فى مياه البحر

تمتص المياه سواء كانت مالحة أو عذبة غازات الجو ، وفى الواقع يمكن اعتبار مياه البحر محلولا يحتوى على غازات الأكسجين ، والنيتروجين ، والأرجون ، وثانى أكسيد الكربون من الجو ، ولكن وجودها فى الماء لا يكون بنسبة وجودها فى الجو ، ففى الجو نجد حجم الأكسجين إلى النتروجين ٢١ إلى ٧٨ أى بنسبة ١ إلى ٤ على وجه التقريب . أما فى الماء الذى تكون درجة حرارته فى درجة الصفر المئوى ، فإن وجود الغازين يكون بنسبة ٣٤,٦ إلى ٦١,٨ ، أى بنسبة ١ إلى ٢ على وجه التقريب . معنى هذا أن الكائنات البحرية تتنفس فى بيئة عامرة بالأكسجين أكثر من بيئة الحيوانات البريّه .

وكما يوجد الأكسجين والنيتروجين فى المستويات السطحية لمياه البحر ، يوجد أيضا على أعماق كبيرة ، وتبلغ نسبة النيتروجين فى المياه العميقة مثيلتها فى المياه السطحية ، يدل على ذلك أن المياه العميقة كانت فى وقت ما قرب السطح على اتصال بالجو . أما نسبة الأكسجين فى مياه الأعماق فتختلف كثيرا عن الحيوانات البحرية ، وفى بعض الأحوال تزيد نسبة الأكسجين زيادة غير عادية فى مستويات المياه السطحية ، ويعزى هذا أيضا إلى أسباب حيوية ، تتلخص فى تكوينه عن طريق عملية التمثيل الكلوروفيلى التى تقوم بها النباتات الطافية أو البلانكتون النباتى ، فهذه العملية ـ عملية التمثيل الكربونى ـ يقوم بها النبات المزود بالكلوروفيل أو

مادة الخضير فى وجود الشمس ، ويستخدم فى هذا ثانى أكسيد الكربون الجوى ، إذ يمتص الكربون ويترك الأكسجين .

أما النيتروجين فأكثر انتظاما فى توزيعه فى مياه المحيطات ، على الرغم من وجود اختلافات تعزى أيضا إلى المؤثرات البيولوجية . فهناك أنواع من البكتريا توجد فى مياه البحار ، تستطيع أن تحلل النترات ، فينطلق غاز النيتروجين نتيجة لذلك ، ويؤدى هذا إلى زيادة نسبته فى المياه ، ويزداد نشاط تلك البكتريا فى البحار المدارية حيث ترتفع درجة الحرارة ، كما توجد أنواع أخرى من البكتريا تستطيع تثبيت النيتروجين الحُرّ فى المياه .

وعملية انتشار الغازات الجوية فى مياه البحر تسير ببطء ، ويعمل على ازدياد سرعتها هبوط ذرات هياكل العضويات الطافية (البلانكتون) الدقيقة فى تيارات تصحب معها كميات قليلة من الغازات الجوية إلى الأعماق . وهناك تيارات أخرى إنقلابية وصاعدة تحدث نتيجة لعدم الانتظام فى توزيع الحرارة ، وهذه التيارات تلعب دورا هاما فى توزيع الغازات فى المياه .

وتحتوى المياه العميقة فى شرق البحر المتوسط على كمية من الأكسجين تبلغ ثلثى أو ثلاثة أرباع ما ينبغى أن تحتويه مياه فى مثل درجة حرارتها . ويعزى هذا النقص إلى استهلاك الحيوانات البحرية لكميات كبيرة من هذا الغاز ، وبناء على نتائج تحليلات قديمة تحتوى مياه البحر المتوسط العميقة على نسبة من الأكسجين لا تستطيع أن تقوم بأود الحيوانات البحرية ، ولكن البعثات العلمية الحديثة قد أثبتت وجود حياة حيوانية فى مياه البحر العميقة ، مما يدل على أن تلك التحليلات القديمة كانت خاطئة .

ومع هذا فهناك مساحات بحرية لا تحتوى على كمية كافية من الأكسجين لمعيشة الأسماك والحيوانات البحرية الأخرى ، وفى مثل تلك

المسطحات البحرية توجد عوائق تمنع انطلاق المياه فى حركات ودورات تسمح بتوزيع الغازات وانتشارها إلى الأعماق . ومثل هذا نجده فى بعض فيوردات النرويج ، وفى البحر الأسود ، وبحر قزوين ، وفى بعض مياه البحر البلطى العميقة . وقد تبين للعلماء الروس أن الحياة الحيوانية معدومة وغير ممكنة فى الأعماق الكبيرة للبحر الأسود وبحر قزوين ، وقد وجد أن أعمق مستوى تعيش فيه الكائنات فى بحر قزوين يقع على عمق ٢١٨ قامة ، حيث تعيش فصيلة من الديدان تعرف باسم Oligochaeta . وفى بعض فيوردات النرويج مثل فيورد « مو » Mofiord تنعدم الحياة الحيوانية فى مياهه العميقة ، نتيجة لسكون تلك المياه ، وعدم اتصالها فى دورات مائية بمياه المحيط .

وتحتوى المياه السطحية فى بحار العروض العليا الجنوبية على كميات كبيرة من الأكسجين ، ويعزى هذا إلى كثرة النبات البلانكتونى فى تلك المياه ، وتهبط نسبة الأكسجين هبوطا ملحوظا تحت عمق ٥٠ قامة ، ويزداد الهبوط تدريجيا حتى عمق ٨٠٠ قامة ، إذ تصل نسبة الأكسجين عندئذ إلى نهايتها الصغرى ، وهناك نقص ملحوظ أيضا فى نسبة الأكسجين فى المستويات العميقة من مياه المحيط الهادى الشمالى ، بين الدائرتين العرضيتين ٣٥ ، ٤٠ شمالا ، وخطى طول ١٥٠° و ١٨٠° غربا . وتحتوى مياه البحر أيضا على نسبة من حامض الكربونيك ، ولم يعد هناك اختلاف كبير فى نسبة ثانى اكسيد الكربون الناتجة عن تحليل عينات من مياه البحر .

وتتباين درجة القلوية فى مياه البحر ، فهى تزداد قرب رواسب القاع القلوية ، وحيث تختلط مياه اليابس بمياه البحر . وتتناقص حيث توجد الكائنات البحرية التى تستهلك الكربونات فى غذائها . وتحتوى بعض الرواسب البحرية على كربونات الكلسيوم والمغنسيوم ، وحينما يوجد غاز ثانى اكسيد الكربون الحُرّ بوفرة فى المياه فإن الكمية الزائدة منه تتحلل وتذوب ، وبذلك تزداد قلوية مياه البحر . وقد يفهم أن مياه البحر تقل

قلويتها بورود مياه الأنهار إليها ، واختلاطها بها ، وبالتالى تخفيف ملوحتها ، ولكن مياه البرّ ، وخاصة المياه العسرة Hard Water تحتوى على نسبة من القلويات . هذه النسبة ولو أنها ضعيفة ، إلا أنه قد أمكن تقديرها فى المياه القريبة من سواحل غرب جزيرة جرينلندا Greenland، وفى مياه البحر البلطى .

وتختلف درجة إذابة وامتصاص المياه لحامض الكربونيك بالاختلاف فى درجات الحرارة . وقد وُجد أنه كلما ازدادت درجة حرارة المياه ، كلما قلت قدرتها على امتصاص حامض الكربونيك . فالمياه فى درجة حرارة ٣٠°م تصل طاقتها فى امتصاص ذلك الحامض إلى ثلث طاقتها فقط على إذابته وهى فى درجة الصفر المئوى . لهذا نجد أن البحار الدفيئة تحتوى على قدر من حامض الكربونيك يقل كثيرا عما تحتويه البحار الباردة .

والمصدر الرئيسى لحامض الكربونيك فى البحار هو الجو ، ولكن مما لا شك فيه أن مياه البحر كانت تحتوى أصلا على ذلك الحامض ، فقاع البحر يعتبر مصدرا آخر ، وخاصة حيث تثور البراكين ، فتنطلق منها كميات كبيرة من الغازات ، وحينما يشتد الضغط الواقع على غاز ثانى أكسيد الكربون فإنه يتحول إلى حالة سائلة ، ولما كان الضغط الواقع على مستويات المياه العميقة فى المحيطات شديداً فإن حامض الكربونيك لا يوجد فى تلك الأعماق ـ تحت ٤٠٠ قامة ـ فى حالة غازية ، بل تمتصه مياه البحر فى حالة سائلة .

هذا ويمكن القول بصفة عامة أنه فى المستويات السطحية من مياه البحر ، مع وجود ضوء الشمس ، تعمل الكائنات الحيوانية الطافية على زيادة حامض الكربونيك عن طريق التنفس ، بينما تعمل النباتات الطافية أو الفيتوبلانكتون Phytoplankton على إنقاصه . ولكن مما لاشك فيه أن السبب الرئيسى فى تباين كمية حامض الكربونيك فى البحر هو الجو ، وقد قدر مايحتويه الجو منه بسبع وعشرين مرة قدر مايحتويه ماء البحر.

وهناك نوع من التبادل فى حامض الكربونيك بين الجو ومياه البحر. وقد قدر أن كمية ثانى أكسيد الكربون الناتج عن عمليات الاحتراق على اليابس تفوق الكمية التى تمتصها مياه البحر ، ولهذا يقال إن البحر يعمل كمنظم لحامض الكربونيك فى الجو . وتعتمد كمية الموجود من حامض الكربونيك فى مياه البحر أيضا على درجة الملوحة ، فقد وجد أنه كلما ازدادت نسبة الملوحة كلما ازدادت قابلية المياه لامتصاص حامض الكربونيك .

ومن هنا يمكن القول أن التغير فى كمية حامض الكربونيك من مكان لآخر فى البحر إنما يرجع إلى ثلاثة أسباب رئيسية هى : الملوحة ، ودرجة الحرارة ، والكائنات الطافية .

مياه البحر محلول غذائى للنبات والحيوان

لما كانت النباتات الطافية (الفيتوبلانكتون) توجد فى مياه المحيطات بعيدا عن اليابس ، فإنه لابد وأن مياه المحيط تحتوى على كل العناصر الضرورية لغذاء النبات ، ومما لاشك فيه أن مياه المحيطات البعيدة عن اليابس أقل غنى فى كائناتها الحية عن المياه الساحلية ، كما أن المياه المدارية أفقر فى البلانكتون من المياه الباردة ، وهذا يتوقف على مقدار الغذاء النباتى فى مياه البحار والمحيطات . وتعتمد حياة الحيوانات كالأسماك اعتمادا تاما على نباتات البحر ، فهى المصدر الوحيد لغذائها العضوى . وتزخر مياه البحار فى المناطق المعتدلة على عكس الحال فى البحار المدارية بأسراب ضخمة من الأسماك كسمك الرنجه والبكلاه ، كما تعجّ بالحيوانات الكبيرة كالحيتان .

وتزخر الحياة النباتية والحيوانية فى البحار حيث تتوافر العناصر الأساسية للغذاء . فللنبات البحرى ، ينبغى أن تتوفر العناصر الآتية جميعا، وبدون أحدها تستحيل حياته وهى :

الأكسجين ، الايدروجين ، النيتروجين ، الكبريت ، الفوسفور ، الكلسيوم ، البوتاسيوم ، المغنسيوم ، الحديد ، السليكون .

فلابد من توفر كميات معينة من تلك العناصر حتى يستطيع النبات الطافى أن ينمو نموا طبيعيا . وظروف الحياة فى البحر أكثر تناسقا على العموم منها على اليابس . فالنباتات والحيوانات البرية ينبغى أن تلائم نفسها بالتغير الكبير فى درجات الرطوبة الجوية ، هذه الظاهرة لا يُلتفت إليها عند دراسة ظروف المعيشة بالنسبة للكائنات البحرية . كما أن التربة التى تلعب دورا بالغ الأهمية فى نمو النبات البِّرى ، وفى توزيعه ، ليس لها أدنى اعتبار عندما نتناول دراسة النبات البحرى .

وتتباين درجات الحرارة على اليابس تباينا كبيرا ، فقد يسجل الترمومتر فى الصحارى العربية وأراضى التّبت درجة حرارة تصل إلى ٦٥ ° مئوية ، بينما يسجل فى أصقاع أخرى شديدة البرودة كسيبريا درجة تهبط إلى ٦٦ درجة مئوية تحت الصفر . معنى هذا أن الفرق بين أعلى وأدنى درجة حرارة يصل إلى نحو ١٣٠ درجة مئوية . أما الكائنات البحرية فلا تتعرض لدرجات حرارة تنخفض عن ٢,٨ درجة مئوية ، إذ أن المستويات السطحية من مياه البحر تتجمد عند هبوط الحرارة إلى ذلك المدى ، فيعمل ذلك الغطاء الجليدى السطحى على حفظ درجة حرارة المستويات السفلى من المياه ، حتى ولو هبطت درجة حرارة الجو إلى أدنى من ذلك بكثير .

وعلى الرغم من الانتظام الملحوظ فى حرارة مياه البحر (حينما نأخذ بعين الاعتبارات وجهة النظر البيولوجية) إلا أننا نجد اختلافا كبيرا فى فصائل الكائنات البحرية فى الجهات الباردة و الدفيئة ، وفى درجة وجودها من حيث القلة أو الكثرة ، وإذا كانت الثروة النباتية البحرية تعتمد اعتمادا كليا على ضوء الشمس فإنه ينبغى لنا أن نتوقع أن البحار المدارية كاليابس المدارى تمتاز بوفرة فى نباتها. إذ تسرع عملية التمثيل الكلوروفيلى للنبات حينما يشتد ضوء الشمس وترتفع درجة الحرارة .

ولكن نمو النباتات البحرية يتوقف أيضا على ما تحتويه مياه البحر من عناصر غذائية ذائبة فيها ، فإذا قلت كمية عنصر من تلك العناصر ، فإن ذلك يؤدى إلى نقص فى محصول النبات العام ، وتعتمد النباتات البحرية جميعا فى غذائها على مياه البحر لا على قاعه ، وهذا ينطبق على نباتات قاع المحيط ، منا ينطبق على النباتات والدياتومات الطافية .

ولقد أجريت عدة تحليلات لتقدير نسب العناصر الأساسية اللازمة لغذاء النبات فى بعض البحار الشمالية ، فوجد أن نسبة النيتروجين فى بحر الشمال والبحر البلطى ، وإن كانت ضعيفة ، إلا أنها تعادل ثلاثة أمثال نسبته فى البحر المتوسط والبحر الأحمر . ولهذا يعتقد أن البحار الدفيئة نظرا لفقرها فى كمية النيتروجين الموجودة بمياها ، فقيرة أيضا فى كائناتها الطافية .

الخلاصة

قصدنا بالفصل السابق تعريف القارئ الكريم بخصائص مياه هذا «البحر المحيط بنا » ، من حيث توزيع المياه ، والحكمة من هذا التوزيع ، فلو انقلبت نسب التوزيع ، وأصبح البحر يمثل ٢٩٪ من مساحة الكرة الأرضية ، واليابس ٧١٪ ، لما صلح اليابس لسكنى البشر ، ولما كانت البحار مناسبة لحياة الكائنات الحية ، لأن الحرارة ترتفع حينئذ بالقدر الذى تستحيل معه الحياة ، لا فى البّر ولا فى البحر . ومن دراستنا لخصائص المياه ، وجدنا أن الخالق تبارك وتعالى ، قد خصّ المياه بمميزات طبيعية ، وكيميائية ، وغازية ، وغذائية ، كافية تماما لمعيشة أعداد لا تُحصى من المخلوقات التى تُفيدُ الإنسان وتُثرية . ويكفى أن نقول إن كل وحدة مساحية من المسطحاتَ البحرية والمحيطية بها من هبات الله (معادن وعناصر مغذية) قدر مايوجد منها فى نفس الوحدة المساحية على اليابس.

وفى الفصل السادس سنرى إمكانيات إنتفاع الإنسان من

ثروات المحيط ، إذا ما أحسن استغلالها ، كما سنرى كيف يُفْسِدُ الإنسان بمحض إرادته (وما جُبل على بعض زعماء الشعوب من شرور) هذه الهيبات الربّانية التى يُمكنه الحصول عليها بقدر يسير من المشقة.

الفصل السادس
الإنتفاع بالمحيط
وكوارث تلوث مياهه

لا خلاف فى أن المحيط قد أصبح له وزنه ، ودوره المتزايد الأهمية فى مختلف نواحى حياة الإنسان . ومما يُعزّز ويُؤكد أهمية هذا الدور ، هذا العدد الدائم التزايد لبنى البشر ، والتوقعات المتصاعدة لنوعية حياتهم . ويصحّ الآن ، بعدما درسنا مختلف العمليات الأساسية التى تتحكم فى الظواهر المحيطيّة العالميّة ، أن نبحث فى إمكانية استخدام موارد المحيط ، وفى مدى تحكّم هذه العوامل فى إحتمالات الإفادة من ثروته الهائلة المتنوعة .

موارد المحيط :

من الممكن النظر إلى مورد اقتصادى على أنه مخزن إمداد وتموين . والمورد الطبيعى هو بالتالى مخزن لمواد معلومة يمكن التزوّد بها أو الحصول عليها من البيئة العالمية ، كالطعام ، والماء ، والمواد الخام ومنها الرمل والحصى (الزلط) المستخدم فى صناعات التشييد والبناء .

وينبغى أن نشير إلى الفرق بين نوعين من الموارد :

١ - **موارد متجدّدة :** وهى تلك الموارد التى يمكن تجديدها أو تعويضها إما بالإنماء أو غيره ، بمعدلات تُساوى مقدار استهلاكنا لها ، ويُستحسن بالطبع أن تزيد على معدلات الاستهلاك .

٢ - **موارد لايمكن تجديدها :** وهى الموارد التى يستحيل تجديدها وتعويضها ، ويشمل هذا النوع على أنماط من الموارد يمكن تجديدها لكن ببطء شديد جدا ، لا يتناسب إطلاقا مع معدلات استهلاكها .

وتُعد المياه العذبة ، والغابات ، ومواد الغذاء ، من أمثلة الموارد التى

يمكن تجديدها . أما البترول ، والمعادن الفلزية كالنحاس فهى من بين بنود الموارد التى يستحيل تجديدها .

ويمدّنا المحيط بعدد عديد من الموارد المتجددة ، لعل أهمها وألزمها لحياة المملكتين الحيوانية والنباتيّة على اليابس هو **الماء العذب** ، الذى يأتى أصلا من المحيط ، ثم يعود إليه بعد الاستعمال . **والطعام** هو الآخر من بين موارد المحيط المتجددة ، لكننا ينبغى أن نهتم ونضع فى الحسبان كمية أمثال هذه الموارد ، ونوعيتها ، وإمكانية الحصول عليها حينما نكون فى مسيس الحاجة إليها . وهذا يقتضى التخطيط لمستقبل الإفادة منها .

إنّ زيادة الاهتمام بموارد المحيط كان نتيجة طبيعية لاستنزاف موارد اليابس التى لا يمكن تجديدها . فاتجه الإنسان إلى المحيط بحثا عن البترول مثلا ، حينما أعيته الحيل للعثور على حقول جديدة له فى اليابس ، وبدأ إنتاج البترول بكميات كبيرة من حقول بترول الرفّ القارى أمام سواحل تكساس ولويزيانا بالولايات المتحدة الأمريكية منذ أواخر الأربعينات . وفى مصر يُستخرج البترول منذ بداية الستينات من حقول بحرية فى خليج السويس ، بعدما نضبت معظم حقول اليابس المطل على الخليج .

ويُعتقد أن مخازن رئيسية للبترول تتواجد فى الرفوف القارية تنتظر الاكتشاف فى جهات متعددة منها جنوب شرق آسيا ، وبحر الشمال الذى يُستغل بتروله الآن بكميات كبيرة ، وأصبح العائد منه يمثل الآن بندا من أهم بنود الدخل القومى البريطانى ، بل إنه هو الذى أقال الاقتصاد الإنجليزى من عثرته ، وأنقذ الجنيه الاسترلينى من التردّى خلال سبعينات القرن العشرين. وحتى الرمال والحصى قد أصبحت شحيحة على اليابس، مما دفع الإنسان إلى طلبها فى رمال المياه الشاطئية والخلجان البحرية .

مصايد الأسماك ، مورد متجدد :

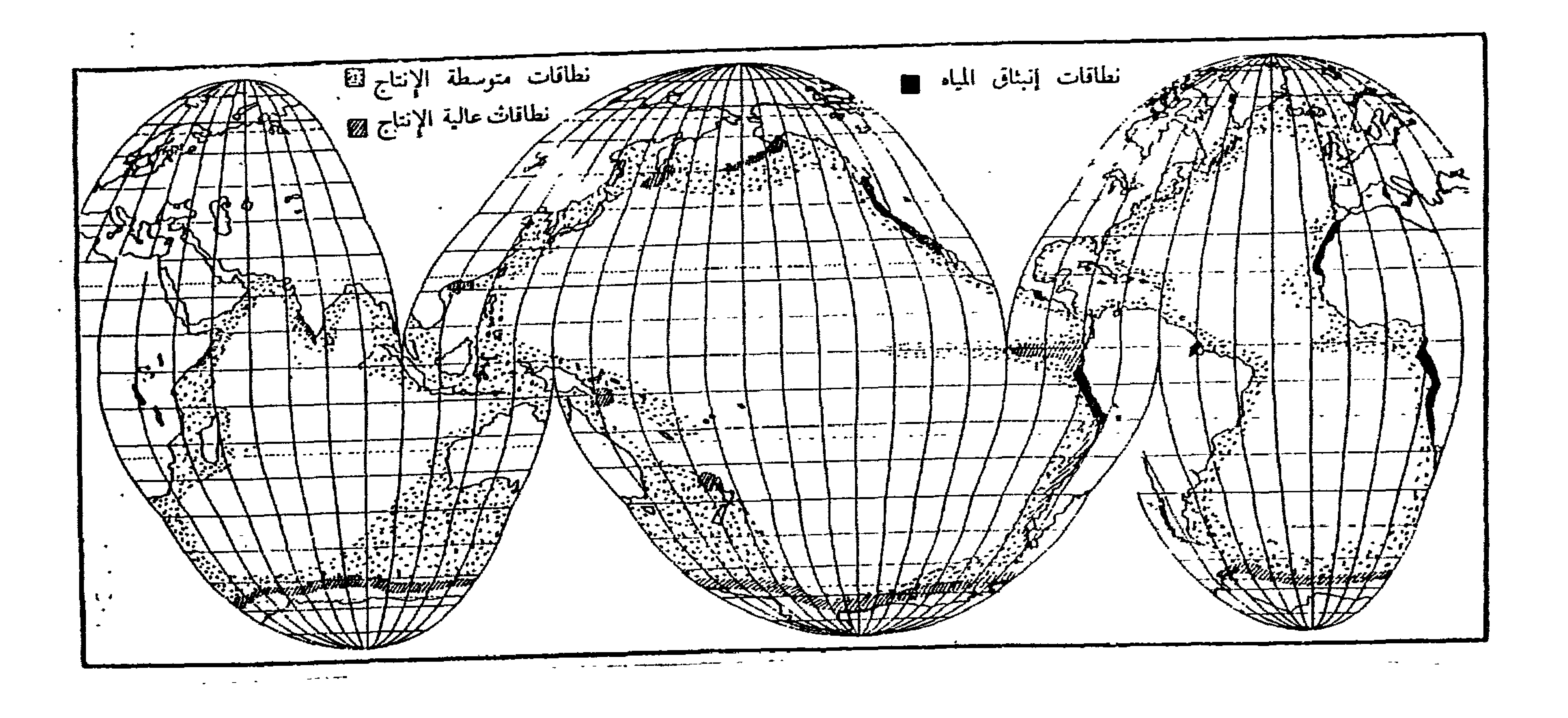
تؤمن الأسماك نحو ٣٪ من الاستهلاك البشرى العام من البروتين ،

ونحو ١٠٪ من بروتين الحيوان . وبالنسبة لشعوب كثيرة ، كان السمك يُمثل دائما ، ومايزال ، مورد بروتين رئيسى فى طعامها ، مثال ذلك ، ما أثبتته دراسة مخلفات طعام قُدّر عمره بنحو سبعة آلاف سنة فى وسط شمال شبه جزيرة البلقان ، من أن ٦٠٪ من بقايا هذا المطبخ القديم تتألف من عظام سمك ، أما النسبة الباقية ومقدارها ٤٠٪ ، فكانت تتكون من عظام الأيل ، والبقر الوحشى ، والخيول .

وإنه لمن الطريف أن نلاحظ أن انشطة الصيد فى عصرنا الحالى لم تتقدّم كثيرا عمّا كانت على عهد أجدادنا الأقدمين . فالأسماك ما تزال تُصاد على أساس من الحظ والخبرة العريقة . وفى الوقت الذى فيه زادت الحيوانات المستأنسة من إنتاج العالم من البروتين زيادة هائلة على اليابس، لانجد زيادة فى مورد مماثل يمكن مقارنته بها فى المحيط .

إن الإنتاج العالمى من الأسماك ، يأتى فى الأغلب الأعمّ من المياه المحيطيّة الساحلية (أنظر الشكل رقم ٤٠) . ففى هذه المياه الساحلية تزدهر المخلوقات الحية الدقيقة التى تؤمن حول ٩٠٪ من الإنتاج الكلى للمواد العضوية فى البحار والمحيطات ، تلك المواد اللازمة لاستهلاك الأسماك فى غذائها . وفى النطاقات الساحلية التى تُبلّلها مياه المحيط ، وفى مياه جوناته ، وفى المصبات الخليجية ، وعلى امتداد المياه الضحلة الشاطئية ، تتكاثر الأسماك وتضعُ بيضها ، الذى يفقس فيها ، وتنمو الأسماك الصغار فيها كدور حضانة حتى تنمو ويشتد عودها . أضف إلى ذلك ما يحدث فى المياه الساحلية من انبثاقات وتقليب للمياه التى تتجدد وتأتى معها بالمواد المغذّية إلى المستويات السطحية .

ومن بين مراكز الصيد الأخرى الغنيّة ، تلك الأصقاع الإستوائية التى تحدث فيها نفس العمليات المشار إليها محليا ، وتؤدى إلى ازدياد نمو النبات الطافى (فيتوبلانكتون) وازدهاره ، وهو أساس شبكة الغذاء التى تدعم النمو السمكى .



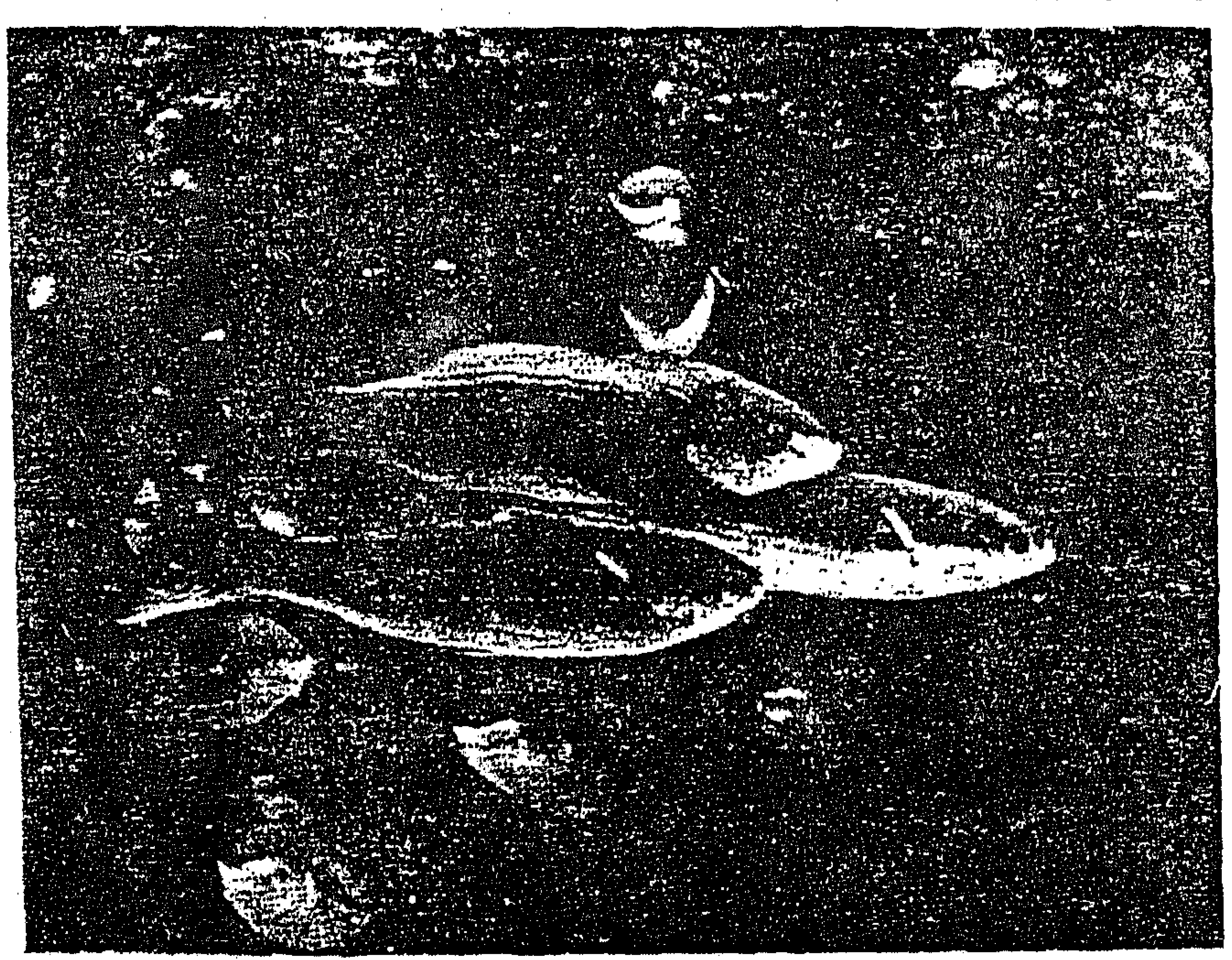
شكل (٤٠) : التوزيع العام لإنتاجية الكائنات الحية فى المحيط العالمى

وتتواجـد مناطق إنتاج أسمـاك ثريّة أيضا فى مياه المحيط الأطلسى ، حـيـث توفـّر الميـاه الـغنيـة بالمواد المغـذّية عند السطح ، وتـؤمن ازدهار نموّ بلانكتـونى أثناء فـترة قـصيـرة لكنها مهـمة ، هـى مـوسـم الصـيف القطبى الذى يكون خلاله الإشعـاع الشـمسـى على أشدّه .

وقـد بلغ إنتـاج العـالم من الأسـمـاك ٨٥ مـلـيـون طن فى عـام ١٩٩٥ . خصّ أسـمـاك الميـاه العـذبة من هـذا المـقدار نـحـو الثّـمـن . واسـتـهلك سكان العالـم ٦٠ ٪ من هـذا الإنتـاج كطعـام مبـاشـر ، وتحـوّل ٤٠ ٪ منه إلى أغراض واسـتـخدامات أخرى . وجاء ترتيب الدول فى الإنتاج كالآتى :

بيـرو ، اليـابان ، الاتحـاد الـروسـى ، الصين ، النرويج ، ثم الولايات المتحدة الأمريكية ...

ومـا يزال مـقـدار مايمكن صيـده سنويا من أسمـاك المحيط محل جدال ونقاش. ويعتقد عدد غير قليل من خبراء المصايد ، أن أقصـى وزن يمـكن أن

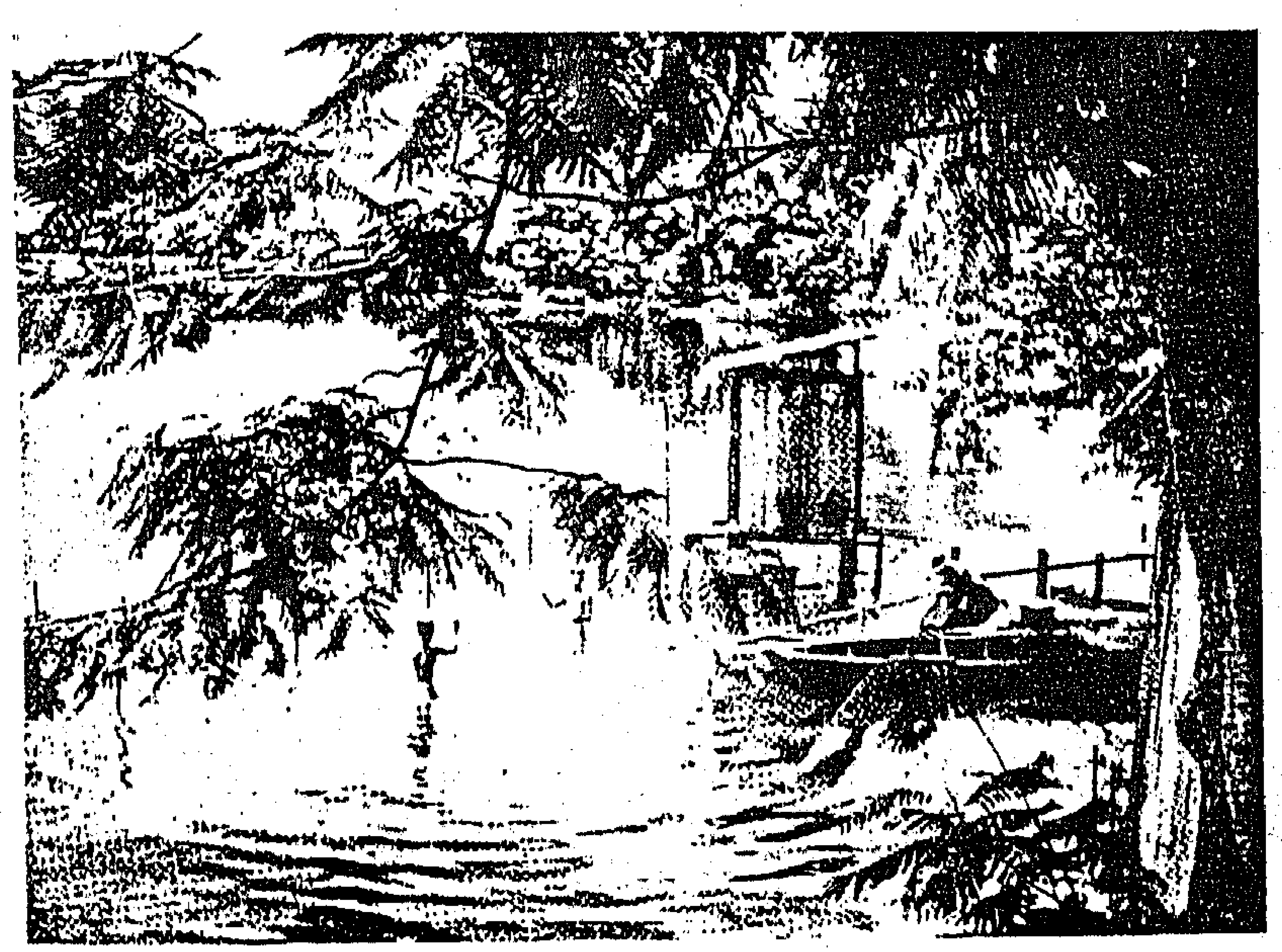


شكل (٤١) : فلاحة الماء :

مجموعة من أسماك البورى تسبح فى بركة سمك Fish Pond اصطناعية .



شكل (٤٢) :
الفلاحة المائية فى أوربا
أسماك الشّبوط Carp ،
من بركة سمك Fish Pond
فى تشيكوسلوفاكيا .
وتزن كل سمكة بين
١,٥ ـ ٢,٥ كيلو جرام .



شكل (٤٣) : الفلاحة البحرية فى الشرق الأقصى : بركة أسماك فى سنغافورة

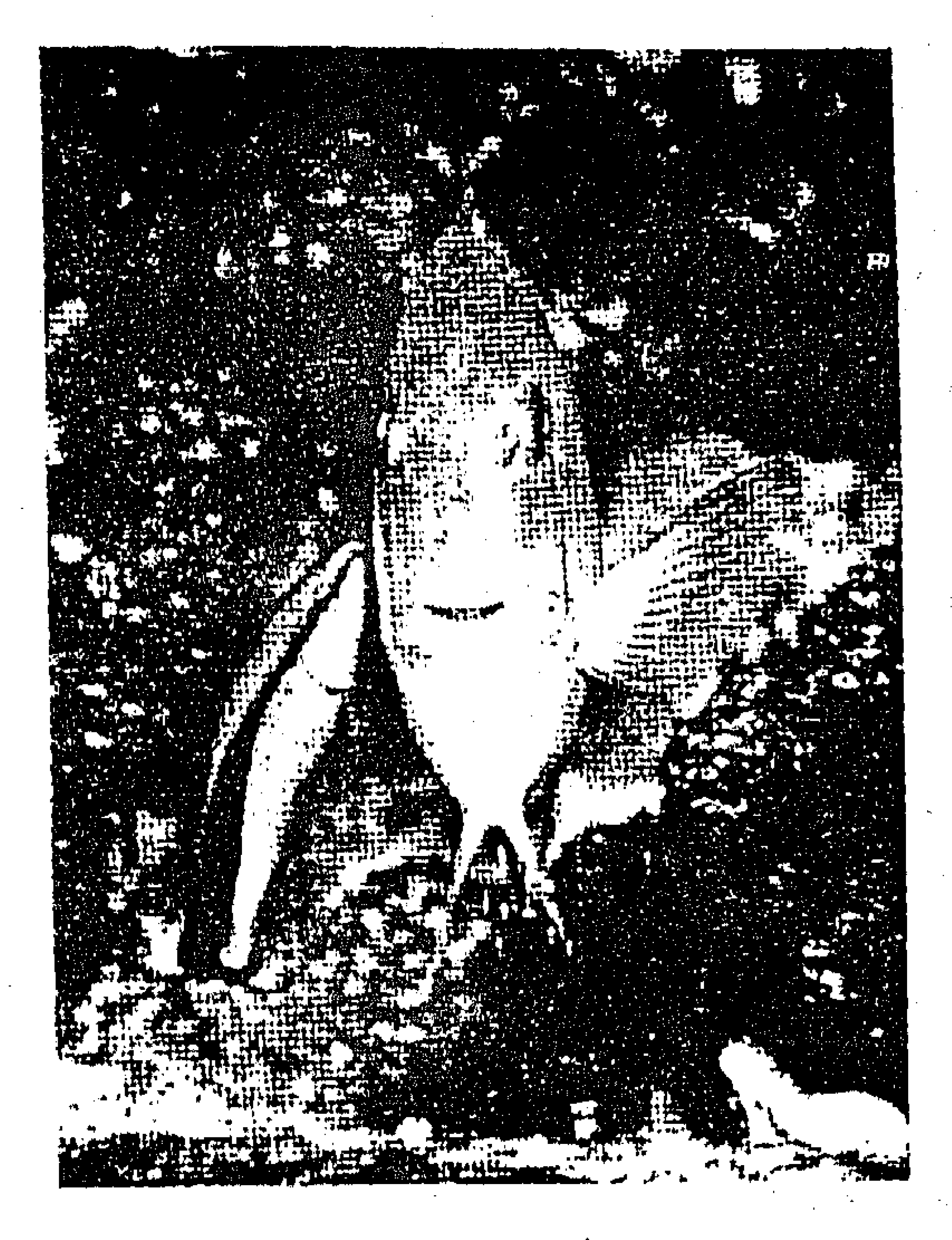
تسمح بصيده مصايد العالم يبلغ ٢٠٠ مليون طن ، أى حوالى ثلاثة أمثال الإنتاج الحالى على وجه التقريب . لكن الغالبية العظمى من خبراء الصيد ، والمختصين بالصناعات السمكية ، يرون أنه للوصول إلى هذا الوزن من الأسماك ، سيلزم حصاد أنواع كثيرة لايتم صيدها الآن ، كما وأن ذلك سيؤدى على الأرجح إلى انكماش خطير ، إن لم يكن انقراض لأنواع معلومة من الأسماك .

وهناك وسيلة لزيادة إنتاج المحيط من المواد الغذائية ، تتمثل فى إدخال «**الفلاحة البحرية**» **Mariculture** أو « **الفلاحة المائية** » Aquaculture ، وهو ما يرادف الزراعة Agriculture على اليابس . وللفلاحة البحرية أشكال متنوّعة . وأبسط أشكالها أن نأخذ حيوانات من منطقة تكاثرها الطبيعية ، إلى منطقة أخرى لاتستطيع أن تُفرخ أو تضع بيضها فيها ، وإنما تتمكن من أن تعيش وتسمن من أجل الاستهلاك .

مثال ذلك المحار Oyster الذى يلتقط من مناطق وضع بيضه فى مياه كونيكتيكات Connecticut ، وينُقل إلى خلجان وجونات لونج أيلاند Long Island حيث تتم تنميته وتسمينه قبل حصاده . وتتضمن أشكال الفلاحة البحرية المعقدة إنشاء حظائر أو أحواض سميكة Fish Pens ، حيث يمكن التحكم فى إطعامها ، ورعايتها .

ويُحد من نمو وإنتشار الفلاحة البحرية قلة فصائل الأحياء المائية المستأنسة ، والجهل بأمراض الأسماك . ومشكلة صعبة أخرى تواجه التوسع فى الفلاحة البحرية هى الوضع القانونى المهتزّ والمشكوك فيه لكثير من المسطحات البحرية ، فإنه يستحيل أحيانا الوصول إلى نطاق بحرى معين ودونما عائق ، لمنع أخطار تحيق بمحصول سمكى . وهذا بدوره من شأنه أن يُعرقل الحصول على اعتمادات لإنماء الفلاحة المائية .

والواقع أن كل هذه المشكلات من المسائل التى يمكن أن يجد الإنسان لها الحلول السعيدة ، وتصبح الفلاحة المائية موردا مألوفا للطعام فى جميع أنحاء العالم ، كما هو الآن فى بلاد الشرق الأقصى (شرق آسيا) .



شكل (٤٤) : إخصاب بيض الأسماك اصطناعياً.
فى الصورة يجرى لخصاب بيض السالمون Salmon فى معمل من معامل تربية الأسماك. يُستخرج البيض أولاً من رحم انثى السالمون، ثم تُصب فوقه غدد التناسل من ذكر السلمون، وذلك بالضغط الهين على بطنه، كما هو واضح فى الصورة. لاحظ (المنقار) الذى ينمو لذكر السالمون فى موسم التلقيح.

ولاشك أن حسن إدارة وصيانة المصايد السمكية فى العالم، يؤدى إلى استمرار الإفادة منها، والحصول على كميات كبيرة من البروتين كل سنة، بل ومن الممكن زيادة الكميات التقليدية، إذا ما صحّت عزيمة سكان المعمورة على استعمال فصائل متنوعة يعافها أو لا يستسيغها الإنسان حاليا، ومنها الحبّار Squid. وإنه إذا ما تخلى الصيّادون عن أسلوب القنص والجمع إلى أسلوب الحماية والصيانة، والصيد العلمى، وفلاحة المحيط، فإن مستقبل إنتاج السمك يكون مشرقا، بحيث يمكن زيادة الإنتاج بصفة دائمة.

موارد من ماء المحيط :

من ماء المحيط يتمّ الحصول على مواد متعددة منها : الماء العذب ، والملح ، والبرومين Bromine ، والمغنسيوم . وماء البحر يمثل موردا جذّابا للمواد الخام لأسباب كثيرة . أولاها : أن ماء البحر وفير ، وهو من الوفرة والغنى حتى ليقال إنه مهما بلغ استعمال الإنسان لمياه المحيط بأىّ معدّل يمكن تخيّله ، فإنه لن يستخرج من معادن المحيط وأملاحه ما يُلحق الاستنزاف حتى بجزء صغير من مساحته الشاسعة لبضع سنين . وفضلا عن ذلك فإن ما ينصبّ فى المحيط سنويا من موارد لمواد متعددة عن طريق تعرية الكتل القارية يساوى بل ويزيد عمّا يستخرجه الإنسان منها من المحيط .

ويُسهم المحيط فى إمداد البشر بنسب متفاوتة من عدد من المواد الهامة اللازمة لاحتياجاته . فهو مصدر لنحو ٣٠٪ من الملح ، و ٧٠٪ من البرومين ، و٦١٪ من معدن المغنسيوم ، و٦٪ من مركب المغنسيوم و٥٩٪ من المياه المستخدمة فى الصناعة . وتقوم باستخراج هذه المواد نحو ستين دولة من دول العالم المشرفة على المحيط .

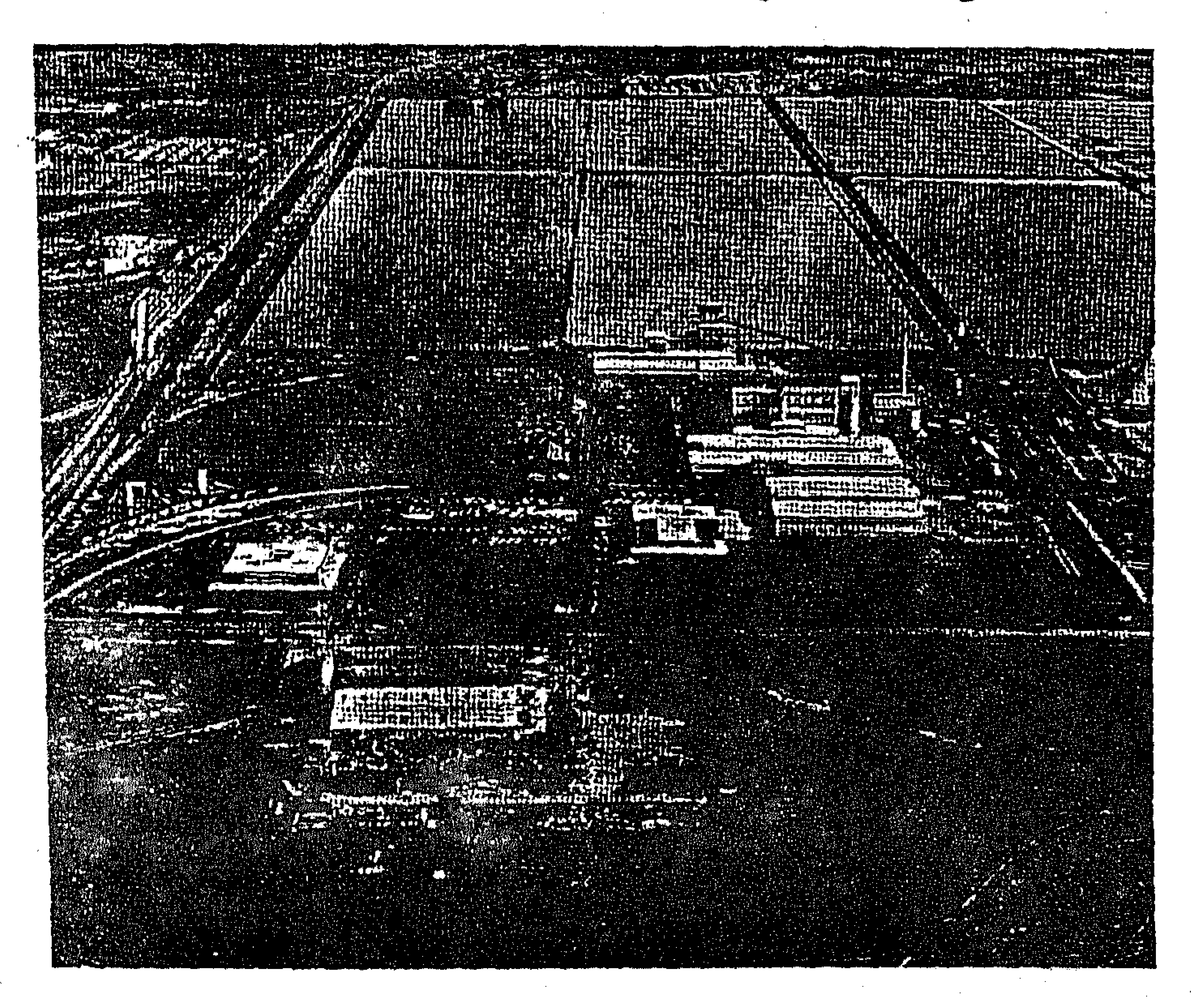
وطبيعى أن يكون الماء أهم وأوفر موارد المحيط . ولما كانت التعدادات السكانية لمختلف أقطار العالم فى ازدياد مستمر ، فإن المدن الساحلية فى النطاقات الجافة تزداد حاجتها إلى المياه العذبة ، مما يضطرها إلى الاتجاه إلى إعذاب مياه البحر ، كما يحدث الآن فى مدن دول الخليج العربى ، وفى الساحل الأفريقى الشمالى ، وفى موانئ بنغازى وإجدابيا ، وطرابلس الغرب . فالإنسان يعمل إذن على مضاعفة دورة الماء ، فهو يُبخّر ماء المحيط للحصول على الماء العذب . ولعل المشكلة التى ما تزال تواجهه فى هذا السبيل ، هى إعذاب الماء فى ذات المكان الذى يحتاج إليه ، وفى الوقت الذى تمسّ الحاجة إليه .

ولقد كان المحيط ، وما يزال موردا هاما لملح الطعام . إنّ أحواض

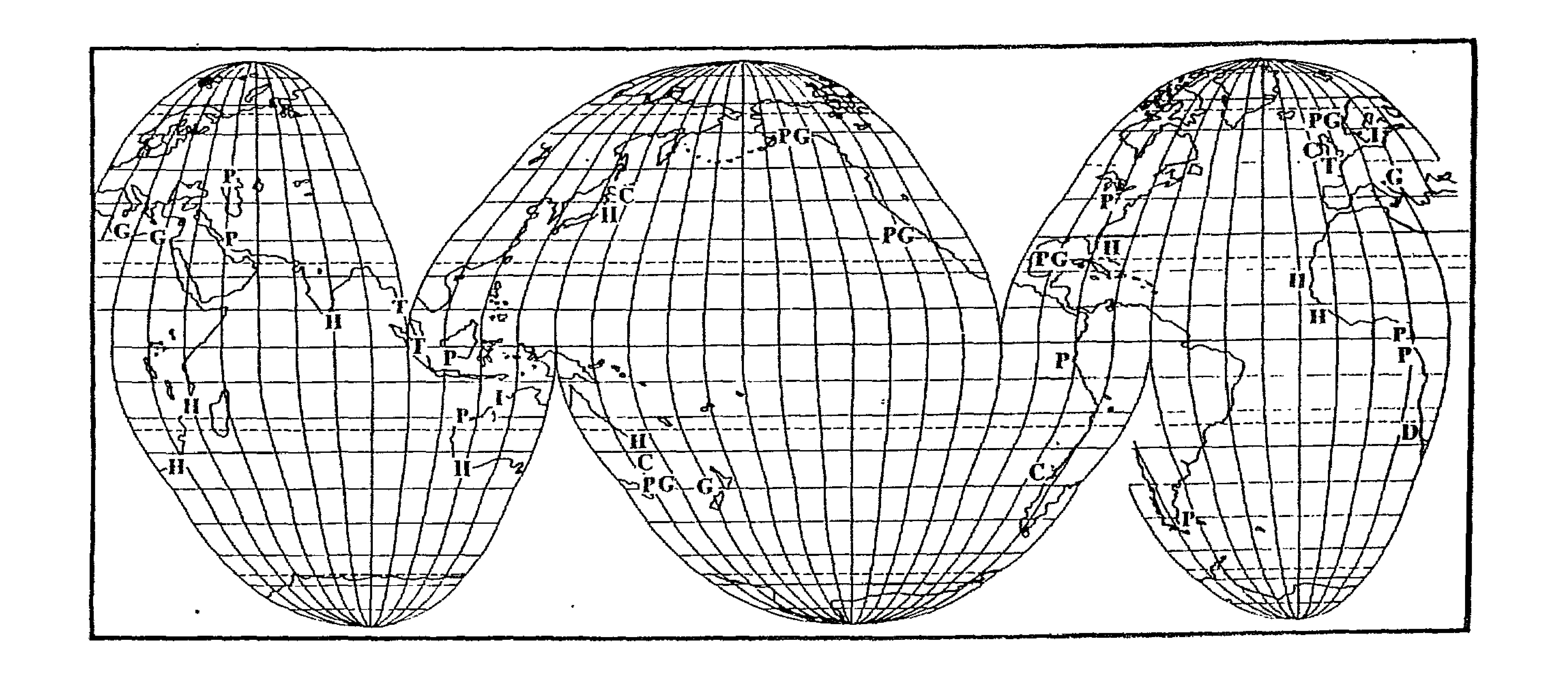
تبخر مياه البحر تنتشر هنا وهناك فى النطاقات الساحلية الجافة نسبيا ، وتستخدم الطاقة الشمسية لتبخر ماء البحر ، ويُمكن التجكم فى المحلول الملحى ، بحيث يتمّ الحصول على ملح الطعام (كلوريد صوديوم) وحده ، أو أىّ محتوى أخر من أملاح البحر ، اثناء مرحلة تقطير واحدة .

ويتم الحصول على ملح الطعام من ملاحات بحيرات مصر الشمالية :

المنزلة ، والبرلس ، ومريوط . وتُشاهد أحواض التبخر منتشرة على امتداد الساحل اللبنانى بين بيروت وطرابلس . وكذلك الحال فى ملاحات ساحل خليج سيرت الليبى . . .



شكل (٤٥) : أحواض تبخّر تُستخدم لاستخراج الملح من ماء البحر فى جنوب خليج سان فرانسيسكو San Francisco Bay ، بغرب الولايات المتحدة الأمريكية .



شكل (٤٦) : مراكز إنتاج المعادن والوقود من رواسب القاع المحيطى .

P = بترول　　　H = معدن ثقيلة .

C = فحم　　　D = ماس .

G = غاز طبيعى　　　I = حديد .

ويُستخدم ملح البحر فى الصناعات الكيمائية ، وكذلك المغنسيوم ، وهو معدن خفيف الوزن . ويدخل البرومين Bromine ، المستخرج من ماء المحيط ، كعنصر فى مركب مادة مانعة للخبْط فى المحرّك داخلى الاحتراق.

وعلى الرغم من وجود عدد عديد من المواد الذائبة فى مياه المحيط ، بكميات كبيرة بالنسبة لكل مادة منها ، فإن طبيعة مياه البحر السائلة ، تجعل عملية استخلاصها باهظة التكاليف ، وتبعا لذلك يمتنع إنتاج معظمها فى وقتنا الحاضر . مثال ذلك الذهب : فنسبة تركيزه فى ماء المحيط منخفضة جدا ، فهى تبلغ ٤ جرام فى كل مليون طن من ماء المحيط (١٠ ^١٢^جرام) . وإذا ما حوّلنا هذه النسبة إلى رقم مطلق ، فإننا نجد أن كمية الذهب الموجود فى المياه المحيطية تبلغ ٥ مليون طن . لكن تكاليف ضخ الماء البحرى ثم استخراج الذهب منه ، تفوق قيمة الذهب المستخرج بكثير .

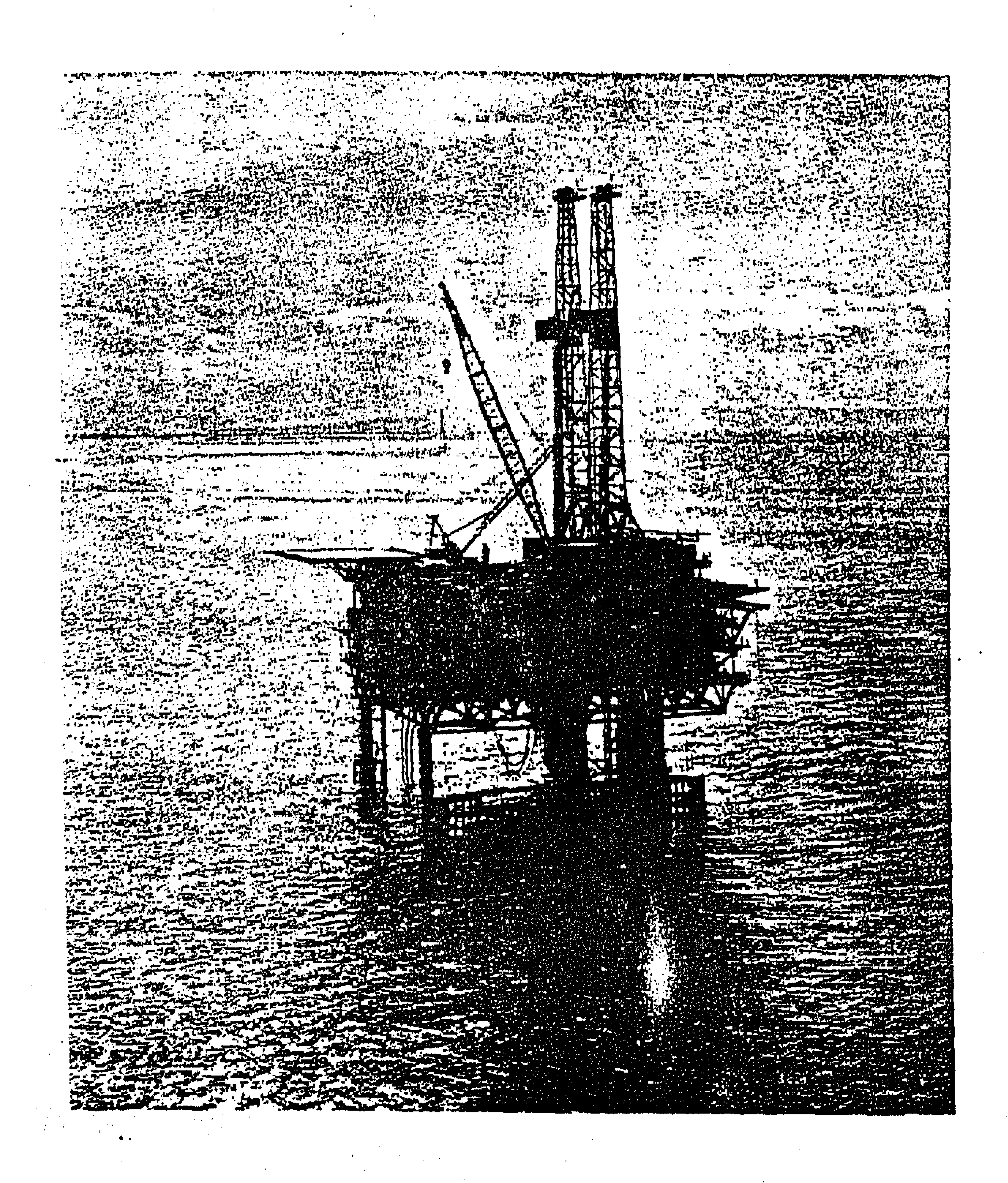
البترول ، مورد لا يمكن تجديده :

يمثّل البترول والغاز الطبيعى موردين مألوفين من موارد المحيط ، التى تُستغلّ على نطاق كبير ، والتى لا يمكن تعويضها أو تجديدها .

وعملية تكوين البترول ما تزال مستمرة فى وقتنا الحاضر ، ولكنها تتمّ ببطء شديد جدا ، لا يتناسب بأى حال مع استهلاكه المتزايد فى الصناعات الدائمة النموّ فى جميع أنحاء المعمورة . ورغم أننا قد أشرنا إلى كيفية تكوين البترول فى نهاية الفصل السادس عشر ، فإننا سنعرض هنا باختصار ، ومن زاوية تفهم هذه المعادلة ، لمراحل تكوينه .

البترول والغاز الطبيعى هما اشتقاق من تحلل المواد النباتية ، وبوجه خاص المواد النباتية البحرية . ورغم أن كثيرا من النبات البحرى تأكله كائنات المحيط الحيوانية ، إلا أن قسما منه يبقى ويترسب ويكّون جزء من رواسب القاع . وفى المناطق التى تتميز بنماء عظيم وإنتاج كثيف للفيتوبلانكتون ، وحيث دورة ماء القاع المحيطىّ ضعيفة بطيئة ، فإن

كميات الأوكسجين المذاب ما تلبث أن تُستنفذ حينما يموت البلانكتون ويتحلل . ويعنى هذا أن عدد العضويات البحرية التى تستطيع المعيشة فى الرواسب يكون قليلا ، وبالتالى يقل استهلاك المواد العضوية الموجودة فى الرواسب ، وتبعا لذلك يتم ترسيب مزيد منها . ويحدث بعد ذلك ، أن يتمكن نوع أو آخر من البكتريا من تحطيم المواد العضوية ، مكوّنة لرواسب تحمل الغاز الطبيعى والمواد البترولية .



شكل (٤٧) : منصة ثاقب بترول فى الرف القارى أمام ساحل كاليفورنيا بغرب الولايات المتحدة الأمريكية .

وبالتدريج تندمج هذه الرواسب الحاملة للغاز والبترول تحت ثقل ما يعلوها من رواسب مستجدة ، ونتيجة لاندماجها ، فإنها تطرد الماء الموجود بين ثناياها وما يصاحبه من بترول . وتتحرك هذه السوائل خلال الرواسب حتى يلاقيها صخر مسامى فيأسرها ، وتستقر فيه ، وكثيراً ما يكون الصخر الآسر صخراً رملياً . وبعد أن يتراكم البترول فى الصخور المسامية والمنفذة ، يمكن حينئذ استخراجه منها .

من هذا نرى أن الشروط الضرورية لوجود رواسب بترولية غنية تتمثل فيما يلى :ـ

١ ـ تراكمات سميكة من الرواسب تكون غنية فى المواد العضوية .

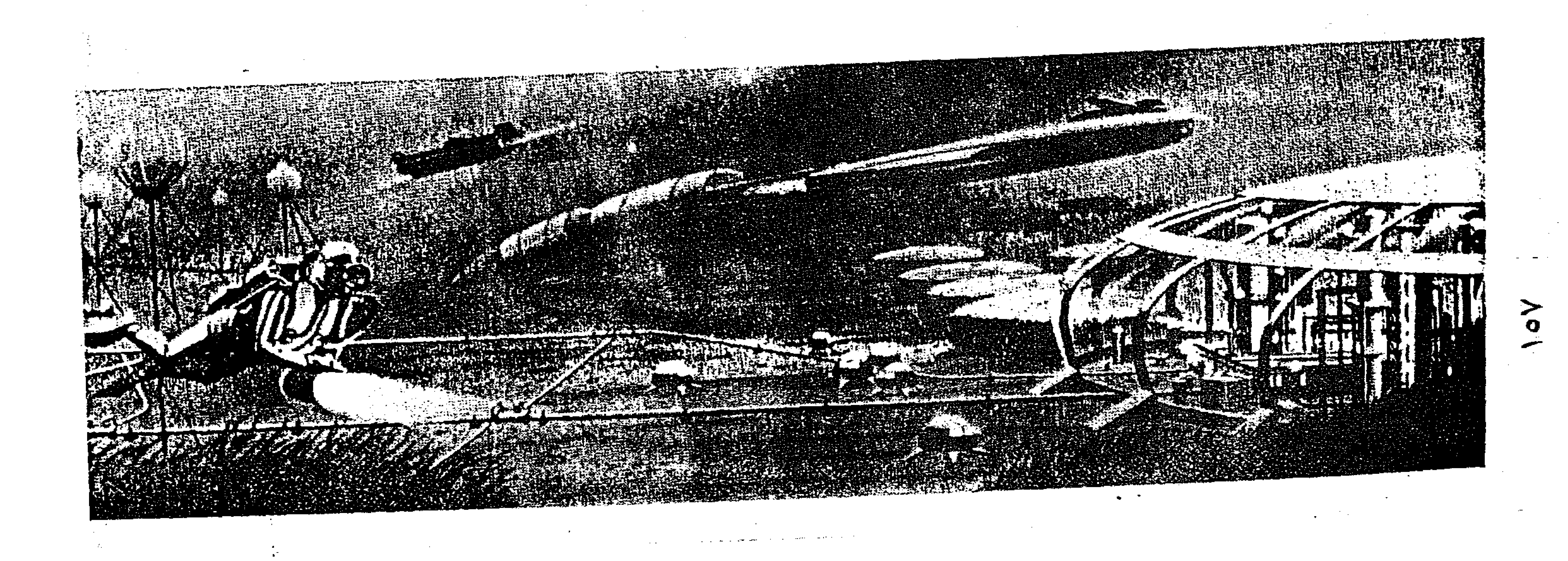
٢ ـ توفر صخور منفذة ومسامية كى تمسك البترول وتأسره بشكل يسمح باستخراجه .

٣ ـ وجود طبقة صماء غير منفذه توقف تحركه نحو السطح والجوانب مثل طبقة سميكة من الشيل الدقيق الحبيبات .

ويعتقد الخبراء أن كل هذه الشروط متوفرة فى الرفوف القارية ، وفى المنحدرات القارية ، ولهذا فإن هذه المناطق أضبحت مناطق جذب لشركات البحث والتنقيب عن البترول والغاز الطبيعى .

ولقد جرى ويجرى إستغلال الرواسب البترولية الهائلة فى خليج المكسيك ، وفى الخليج العربى ، وفى خليج السويس . وكلها امتدادات لرواسب حاملة للبترول موجودة فى اليابس المجاور . وفى مناطق أخرى لا تظهر هذه العلاقة بين اليابس والرف القارى المجاور ، مثل منطقة بحر الشمال فيما بين انجلترا وهولندا ، وبوغاز باس Bass Strait فيما بين أستراليا وتسمانيا Tasmania ، ففيها لا توجد حقول بترول ذات أهمية على اليابس المتاخم .

وتقع معظم رواسب البترول الرئيسية أسفل مياه المحيط الساحلية . وتتضمن الرفوف القارية الواعدة ، التى ينتظر لها مستقبل كبير فى عالم



شكل (٤٨) : شكل تصورى لحقل بترول بحرى فوق أرض الرّف القارى ، فى المستقبل الذى قد يكون قريباً .

البترول ، الرفوف القارية فى شمالى الاسكا ، وحول جزيرة سومطرة وجزيرة بورنيو من جزر إندونيسيا ، والرفوف القارية التى تحف بقارة أمريكا الشمالية سواء رفوف الأطلسى ورفوف الهادى .

وإنه لمن الصعب التنبؤ بإمكانيات البترول وإحتمالاته فى مناطق المنحدر القارى والمرتفع القارى . لكن يعتقد أن التراكمات السميكة للرواسب فيها ، وما تحويه من كميات طيبة من المواد العضوية ، ترجح إحتمالات وجود كميات تجارية من البترول . لكن ما يزال أمام الاستغلال الناجح لهذه الرواسب البترولية العميقة عدد من المشكلات الهندسية والتقنية ينبغى التغلب عليها .

ورغم ما يعترض استغلال البترول البحرى فى وقتنا الحاضر من عقبات ، فإن كل التوقعات تشير إلى أن إنتاج البترول من هذه الرواسب البترولية فى المناطق المشار إليها ، والتى توضحها الخريطة شكل (٤٦) لن يقل عن إنتاجه من اليابس . وقد لا يمر وقت طويل حتى نرى كثيراً من الدول البحرية ، وقد اعتمدت على إنتاجها من بترول الرف القارى والمنحدر القارى والمرتفع القارى المتاخم ليابسها .

الطاقة من المحيط :

مياه المحيط ذاتها موارد ممكنة للطاقة ، **فحركة المد والجزر** تستخدم الآن لتوليد القوى المحركة ، ووضعت البرامج والخطط لتوليد القوى من **حركة الأمواج** ، ومن **الاختلافات الحرارية** بين مياه السطح الدافئة ، ومياه المحيط العميقة الباردة .

إستخدام حركة المد والجزر لتوليد الطاقة :

إن حركة المد والجزر قد استخدمت منذ قرون لإدارة معامل وطواحين صغيرة فى المناطق الساحلية . مثال ذلك ما كان فى مدينة بوسطون فى عام ١٦٥٠ ، حيث كانت قوة المد والجزر تدير طاحونة لطحن الغلال .

ويتجه الاهتمام الآن بقوى المد والجزر لا لإدارة معامل صغيرة تقع على الساحل وتطل على البحر ، وإنما لتوليد مقادير ضخمة من القوى الكهربائية لاستخدامها ، لا على النطاق الساحلى فحسب ، وإنما على مدى إتساع الدولة .

وفى أوائل السبعينات جرى تشغيل معملين كبيرين لتوليد الكهرباء بقوى المد والجزر ، أحدهما فى خليج رانس Rance Estuary فى مقاطعة بريتانى Brittany بفرنسا ، والثانى فى خليج كيسلايا Kislaya بالاتحاد السوفيتى قرب مورمانسك Murmansk .

وفيما يختص **بالعامل الأول** نرى مشروعات توليد الكهرباء الحديثة تستخدم المدى (أو الفرق) بين منسوبى المد والجزر لتوليد منبع مائى لدفع التوربينات Turbines وتحريكها . وبعبارة أخرى ، فإن الماء يجب أن يسقط من منسوب المد إلى منسوب الجزر خلال مروره بتوربين ضخم ليطلق طاقته الكامنة .

وفى اليابس تشيد السدود لتوفير منبع مائى فرق منسوبه يصل إلى مائة متر ويزيد . لكن فرق المنسوب بين أعلى مد وأدنى جزر ، يصل إلى حوالى ١٥ متر (٥٠ قدم) ، كما هو الحال فى خليج فندى Fundy ، بنوفاسكوشيا Nova Shcotia .

والجهات الساحلية التى يبلغ عندها فرق منسوبى المد والجزر أكثر من ٥ أمتار (١٦ قدم) قليلة الوجود . وإذا ما استعرضنا الإمكانيات العلمية الحالية ، فإن أحدث التوربينات تصمم للعمل لتوليد الكهرباء بقوى المد والجزر بفرق منسوب بينهما لا يقل عن ٥ أمتار ، باعتبار هذا الفرق أدنى ما يمكن من الوجهة العملية .

وإذا ما عرفنا أن المدى بين منسوبى المد والجزر لمعظم سواحل العالم فى حدود مترين فقط ، فإنه يتضح أن فرص توليد القوى الكهربائية بهذه الواسطة محدودة . أضف إلى ذلك أن المواضع الساحلية الصالحة لتوليد

الكهرباء بهذه الوسيلة تقع فى **مناطق قصية** ، بحيث تصبح تكاليف نقل الكهرباء إلى مراكز الصناعة والمدن الداخلية باهظة .

ويصح هنا أن نذكر مراكز توزع إمكانيات توليد الطاقة الكهربائية بطريق فروق مناسيب المد والجزر على النحو التالى :

آسيا : شمال غرب الهند ، شرقى الصين ، كوريا ، شرقى بعض الجزر اليابانية .

أوروبا : سواحل شمال غرب فرنسا ، وبعض خلجان إنجلترا ، كخليج بريستول ، وميرزى ، وسواحل البحر الأبيض الروسى .

أمريكا الشمالية : رأس خليج كاليفورنيا ، وسواحل غرب كندا إلى الشمال من فنكوفر ، وسواحل غرب الاسكا ، ثم خليج فندى ، وما يجاوره من خلجان شمال شرق القارة .

أمريكا الجنوبية : سواحل جيانا ، وسواحل الطرف الجنوبى للقارة فى كل من الأرجنتين وشيلى .

أما **العامل الثانى** الذى يحد من إنتشار محطات توليد الكهرباء بواسطة المدى فى منسوبى المد والجزر ، فهو **العامل الطبوغرافى** . ذلك أن معظم مشروعات هذه المحطات يستلزم بناء سد أو أكثر . وكلما كان مدخل الخليج أو المصب الخليجى أو الجون كبيراً واسعا ، كلما إزدادت تكاليف بناء السد المطلوب . وينبغى أن يكون الأساس الصخرى للسد جيدا ، ولهذا السبب فإن أفضل المواضع وأنسبها تقع فى العروض العليا ، حيث تمكنت الثلاجات من حفر أودية ، هى الآن خلجان عميقة ، ووصلت بالنحت والحفر إلى صخر الأساس الصلد .

ويبقى **العامل الثالث** ، الذى يختص بتوقيت توليد القوى . وهنا نشير إلى أن قوى المد مرتبطة ارتباطاً وثيقاً بدورة المد والجزر ، التى ينتقل توقيتها ٥٠ دقيقة كل يوم . وفضلاً عن ذلك ، فإن توقيت دورة المد والجزر لا يتفق فى العادة مع أوقات أوج الطلب على القوى .

وقد تقدم الخبراء بعدد من المشروعات للتغلب على هذه المعضلة . منها مشروع ينصح بتغذية القوة المولدة لشبكة كبيرة من خطوط القوى وبالتالى يمكن استخدام قوة المد والجزر فى أى مكان بغض النظر عن توقيت توليدها .

ومشروع آخر يقترح بناء سدود عديدة ، وتخزين المياه أمامها إلى مناسيب مرتفعة ، بحيث يمكن إستخدام حوض منها كخزان ، بينما الحوض الآخر يخدم كأداة لتجميع التيار ، وتلك طريقة باهظة التكاليف ، وتتطلب مواقع محطات توليد كبيرة مناسبة ، وهذه لا تتواجد إلا نادراً .

ومشروع أخير يرى أن الحل السعيد للمشكلة يكمن فى إمكانية توليد الطاقة بالقدر الذى تستطيعه محطة التوليد ، ثم تخزين الفائض بعد الاستعمال بطريقة أو بأخرى لا ستخدامات لاحقة .

وإحدى طرائق التخزين تتلخص فى ضخ المياه إلى خزانات عليا لحين استخدامها حين تلزم الحاجة إلى القوى . وطريقة أخرى مؤداها توليد وقود اصطناعى ، مثل الهيدروجين ، الذى يمكن صنعه وقت وجود القوى ، ويخزن لحين الحاجة إلى استخدامه .

هذا وينبغى التذكير مرة ثانية ، وقد استعرضنا العوامل المعوقة ، وكيفية التغلب عليها ، بأن المناطق الساحلية التى تصلح لإقامة محطات توليد قوى بواسطة فرق المنسوب بين المد والجزر قليلة ، معظمها يقع فى مناطق نائية ، كما أسلفنا .

الأمواج كمصدر للطاقة :

أمواج البحر هى الأخرى مورد من موارد الطاقة التى يرجى لها الإزدهار فى المستقبل . وقد أوضحت الدراسات أن الموجة التى ارتفاعها ١،٨ متر ، وعمقها ٩ أمتار ، تحمل طاقة مقدارها ١٠ كيلو وات فى كل متر من جبهتها . وإن الطاقة التى تتبدد فى البلاج أثناء عاصفة واحدة لكبيرة جداً . وقد استخدمت كميات صغيرة من القوى المولدة بواسطة الأمواج لتشغيل

الصفارات أو الأجراس الموجودة على الطافيات الملاحية لعدة عقود من الزمن . والمشكلة هى إبتداع مشروعات لتوليد طاقة من قوى الأمواج على نطاق واسع بتكاليف معقولة .

التباين الحرارى فى كتل مياه المحيط كمصدر للطاقة :

وهو مصدر آخر يرجى له مستقبل مرموق في توليد الطاقة ، حينما تجد مشكلاته الحل الموفق السعيد .

تكون درجة حرارة المياه السطحية فى النطاقات المدارية ٢٥ درجة مئوية ، بينما تهبط درجة الحرارة فى المستويات المائية السفلى على عمق لا يزيد على مئات قليلة من الأمتار ، فتصل إلى ٥ درجات مئوية . وقد استخدمت هذه الاختلافات الصغيرة نسبياً في درجات الحرارة لتوليد طاقة كهربائية لمجرد إجراء التجارب ، أما توليدها بهذه الوسيلة بحجم كبير ، وعلى المستوى التجارى ، فلن يتحقق على ما يبدو فى المستقبل القريب .

وقد اقترحت عدة مشاريع لتوليد القوى في الجزر المدارية ، وتضمنت المشروعات إستخدام الماء البارد الغنى بالمواد المغذية لتأمين احتياجات عدد من مشروعات الفلاحة المائية الصغيرة .

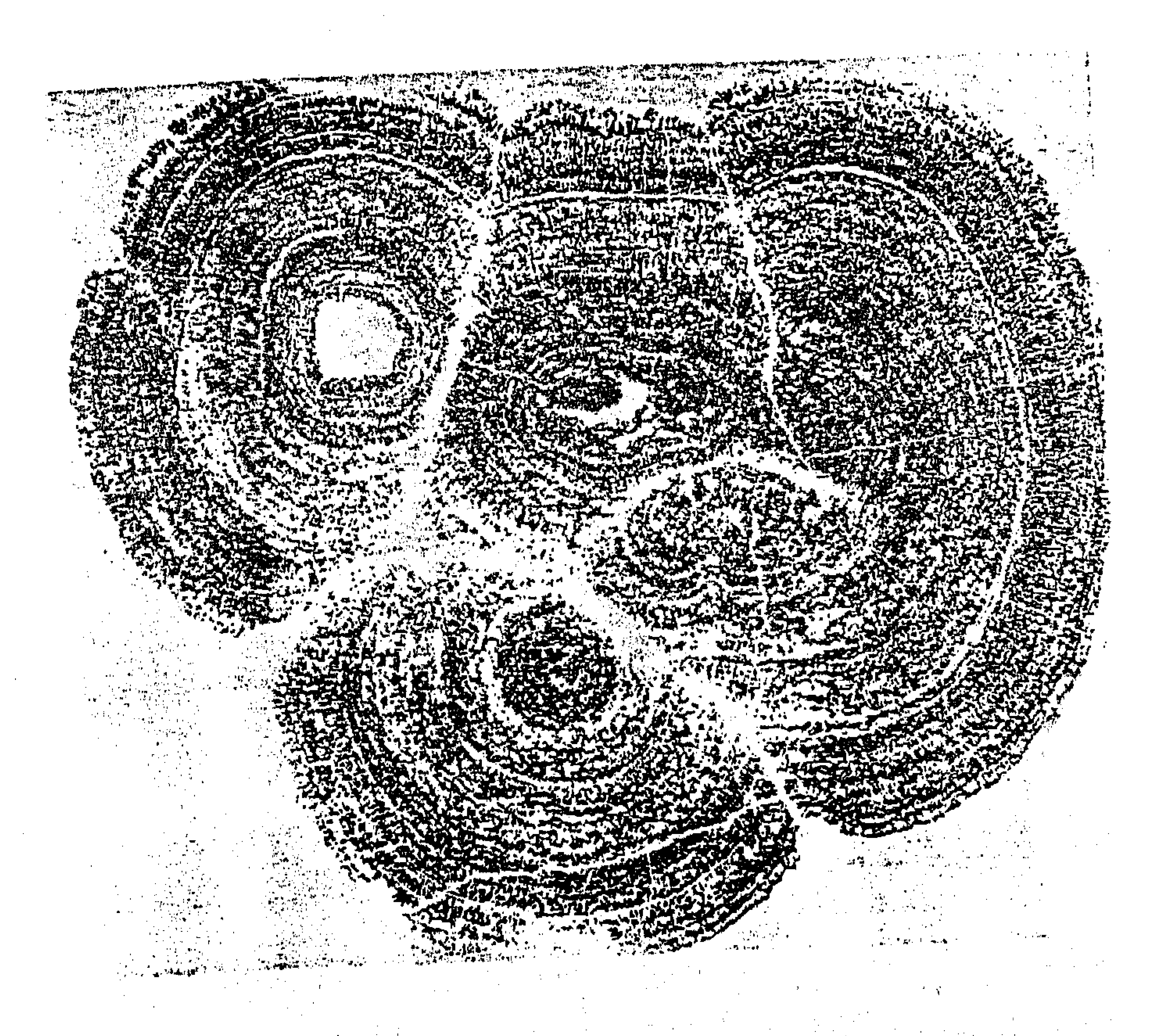
وتتطلع مشروعات أخرى لاقامة معامل كبيرة عائمة لتوليد الطاقة تعمل فى المحيط المدارى ، وتستفيد من الفروق الحرارية بين الكتل المائية السفلى والعليا ، وتخزن الطاقة المولدة ، ربما في هيئة هيدروجين ، لاستخدامها عند الحاجة فيما بعد .

هذا وتتطلب كل هذه المشروعات مجهودات بحث ودراسة كثيرة وطويلة ، كي يمكن التغلب على المشكلات الخاصة بالمواد وبتخزين الطاقة المولدة . وإن نجاحها يتوقف ، إلى حد كبير ، على توفر رأس المال اللازم للعمليات الإنشائية ، وعلى مدى منافسة الطاقة المتوفرة حالياً من مصادر أخرى ، وعلى مدى إشتداد الطلب على موارد طاقة نظيفة لا تسبب تلوث الجو .

عقد المنجنيز :

إقتصرت دراستنا لموارد المحيط حتى الآن ، على النطاق الساحلى للمحيط ، وعلى هوامشه القارية المشتملة على الرف القارى ، والمنحدر القارى ، والمرتفع القارى .

والواقع أنه حتى بداية السبعينات كان الإهتمام قليلاً والإدراك أقل لإحتمالات الموارد الإقتصادية من عرض المحيط ، وقاعه العميق . وقد اكتشفت سفن البحث الأقيانوغرافى أن العقد المعدنية تفترش مساحات رحبة من القيعان المحيطية ، وأنها غنية بمعادن قيمة .



شكل (٤٩) : قطاع رقيق لعقدة منجنيز التقطت من قاع المحيط الهندى يبلغ طول أطول قطر لهذا القطاع ٦,٢ سم ، ويتضح من الصورة أن هذه العقد تنمو وتكبر عن طريق إضافة طبقات أو أغلفة رقيقة من المواد المكونة تأتى وتترسب من المياه المحيطة بها .

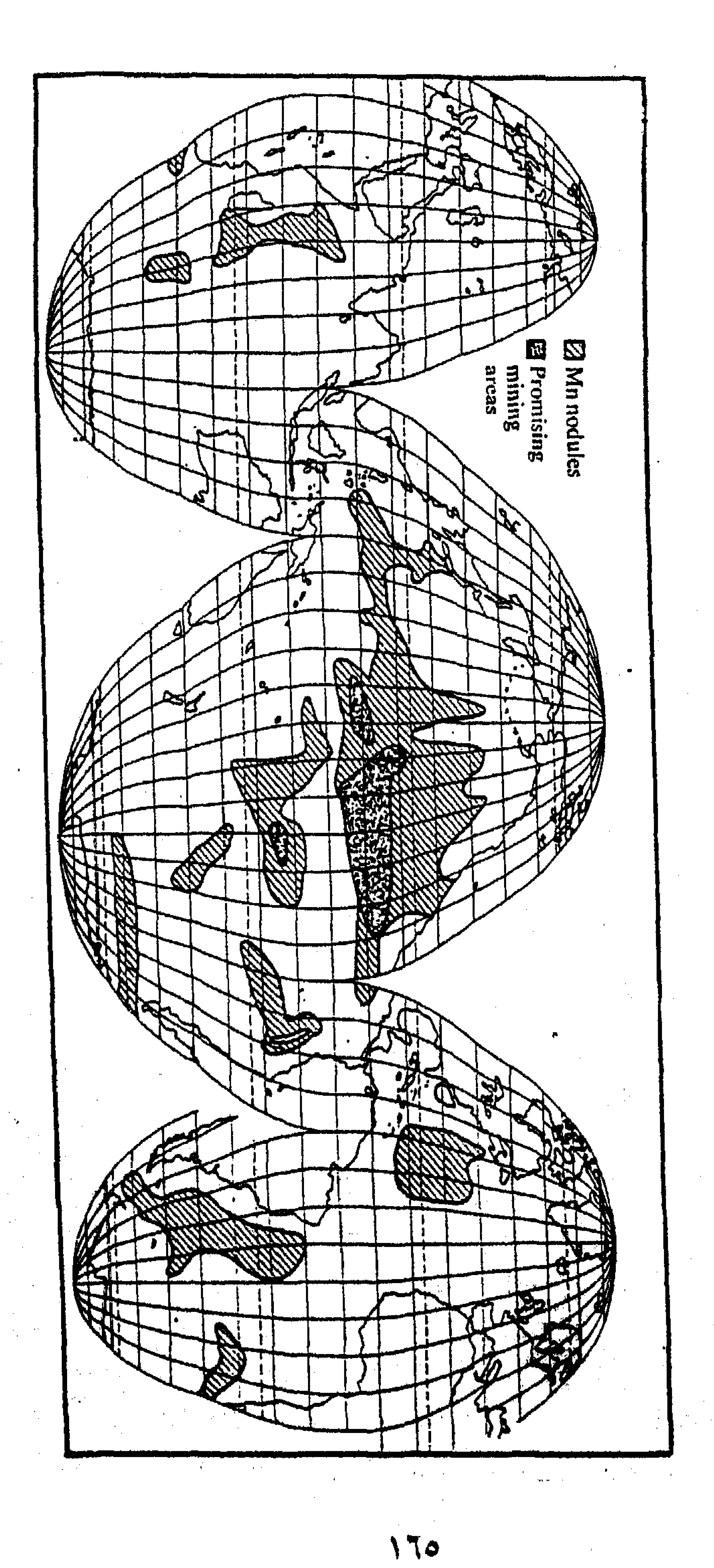
وعقد المنجنيز تتواجد بكميات كبيرة ، وتحوى مكونات منجنيزية بنسب تجارية . وهى عقد مسودة ، ومستديرة حجمها فى مثل حجم قبضة اليد ، وتنمو **كأغلفة متتابعة** فوق الصخور والأصداف .

وتتألف العقد أساساً من معدنى المنجنيز والحديد ، وتختلط بهذين العنصرين غالباً حبيبات من الرواسب . وترجع أهمية هذه العقد المنجنيزية فى الواقع إلى ما تحويه من معدنى النحاس والنيكل ، وتبلغ نسبتهما معاً فى العقد حوالى ١٪ ، كما تحوى تركيزات من الكوبالت Cobalt بنسبة أدنى من ١٪ بقليل .

إن توزيع عقد المنجنيز ليس منتظماً ولا متناسقاً فوق القيعان المحيطية ، رغم أنها تفترش نحو ربع مساحة تلك القيعان . وتنتشر رواسبها الغنية فى المحيط الهادى ، خاصة فى قاع شمال المحيط الهادى إلى الجنوب من جزر هاواى (أنظر شكل ٥٠) . ويبدو أن هذه الرواسب ستكون الرائدة فى الاستغلال ، وذلك بسبب وفرتها ، ولأنها تحوى نسبة عالية من معدنى النحاس والنيكل .

ونظراً لعمق المياه من فوق القاع المحيطى الذى تتراكم عليه هذه العقد ، فإنه ينبغى إدخال أنماط جديدة من آلات إلتقاط ورفع هذه العقد من هذه الأعماق السحيقة ، ثم استخراج المعدن بكميات تجارية .

وتبقى بعد ذلك مسائل قانونية تختص بشرعية الدولة أو الدول التى يحق لها استغلال رواسب القاع المحيطى العميق . مثل هذه الشرعية ينبغى الاهتداء إلى إتفاق ترتضيه كل الدول بشأنها ، قبل الشروع فى استغلال الموارد المعدنية من قاع المحيط العميق على نطاق واسع .



شكل (٥٠) : توزيع الرواسب الغنية بعقد المنجنيز ، ومناطق التعدين الممكنة والواعدة .

المحيط وسيلة استجمام :

إزداد إستخدام المحيط ، وخصوصاً مياهه الساحلية ، كواسطة استجمام بدرجة كبيرة ، نتيجة لازدياد الغنى ، وبحبوحة العيش ، وتوفر أوقات الراحة ، وكثرة أيام الفراغ والعطلات .

ومن بين استخدامات البحر الترفيهية نذكر : حمامات الشمس ، والسباحة ، والتجديف ، وركوب متن الأمواج المتكسرة على الشواطئ Surf Riding ، وجمع الأصداف ، ورياضة صيد السمك ، والغطس ... وما إلى ذلك من ممارسات رياضية تفوق الحصر .

وتعتبر السياحة في الأقطار الساحلية ، وما يتصل بها من مظاهر الاستجمام المتصلة بمياه البحر ، موردا هاما للدخل . وأمثلة ذلك معروفة مشهورة ، خاصة في سواحل الدول المطلة على البحر المتوسط : سواحله الشمالية بالنسبة لسكان أوروبا ، وسواحله الشرقية والجنوبية بالنسبة لسكان النطاق الصحراوي الممتد من المحيط الأطلسي حتى الخليج العربي.

يستخدم نطاق الشاطئ استخداما كثيفاً في النطاقات المدنية . مثال ذلك أن عدداً من السائحين يصل إلى نحو ١٥ مليون شخص يزورون بلاج جونس Jones Beach الواقع جنوبي لونج أيلاند Long Island ، بولاية نييورك كل عام ، كما تستخدم عشرة ملايين أخرى من سكان الولايات الشرقية بلاجات متعددة بسواحل لونج أيلاند ، وبالطبع تتزايد هذه الأعداد عاماً بعد عام .

وبالإضافة إلى الدخل المباشر من مختلف التسهيلات ووسائل الترفيه والاستجمام على البلاجات ، هناك صناعة ضخمة رائجة ، تختص بالبناء والتشييد لمنازل صيفية ، يجرى تأجيرها لمن يحب قضاء فترة من الصيف بجوار الشواطئ البحرية .

ولصيد الأسماك من مياه المحيط المرتبط بالاستجمام في الولايات المتحدة الأمريكية أهمية خاصة ، ففي كثير من المناطق الساحلية ، مثل

خلجان أوجونات اللونج أيلاند ، يزيد مقدار الأسماك التى يصيدها الهواة من السائحين على كمية ما يصاد تجاريا (كحرفة) بكثير .

ورياضة التجديف ، واستخدام القوارب لرحلات قصيرة فى المياه الشاطئية مهم للغاية فى كثير من الأقطار البحرية . مثال ذلك ، قدر عدد القوارب التى تستعمل لأغراض الاستجمام فى منطقة لوس أنجلس ـ سان دييجو Los Angeles - San Diego بغربى الولايات المتحدة الأمريكية وحدها ، بنحو ٤٠٠٠٠٠ قارب ، وهو عدد كبير يتطلب إقامة مرافئ ومراسى صغيرة لخدمتها . ويقدر الخبراء أن الاستخدام الاستجمامى للمحيط فى الولايات المتحدة يفوق كثيراً قيمة المصايد البحرية .

لكن يبدو أن الأمر ما يزال يتطلب حماية المياه الشاطئية المحيطية ، لوقاية البيئة البحرية العالمية من الإهمال وإساءة الاستعمال . وإن مسألة صيانة البيئة البحرية ، للإفادة منها كمراتع للراحة والاستجام ، وحمايتها من « التعرية » المكنة بواسطة استخدامات أخرى منافسة ، لتمثل تحدياً سامياً للمشتغلين بعلوم البحار ، وللمخططين ، وللسلطات المهتمة بشئون السواحل .

تيسيرات المحيط : فى البحر مكان للفائض السكانى :

استدعى الاكتظاظ السكانى ، والحاجة إلى مزيد من الأرض لاستخدامها فى الزراعة والصناعة ، طلب إضافة مساحات من المناطق الساحلية البحرية إلى اليابس . إن الأقاليم المدنية التى بلغت شأوا بعيداً فى النمو والتحضر والاكتظاظ السكانى لم يعد أمامها مجال لسوى اختيارات قليلة جداً . لهذا تهتم البلديات ، والمؤسسات ، والحكومات بإقامة مشروعات فوق الرفوف القارية .

إن إقتحام البحر بالنسبة للهولنديين ليس بالشئ الجديد . فلقد إستطاع سكان هولندا فى الفترة فيما بين عامى ١٢٠٠ ـ ١٩٥٠ ، أن يقتطعوا من البحر ١،٦ مليون فدان (حوالى ٦٣٠٠ كيلو متر مربع أو

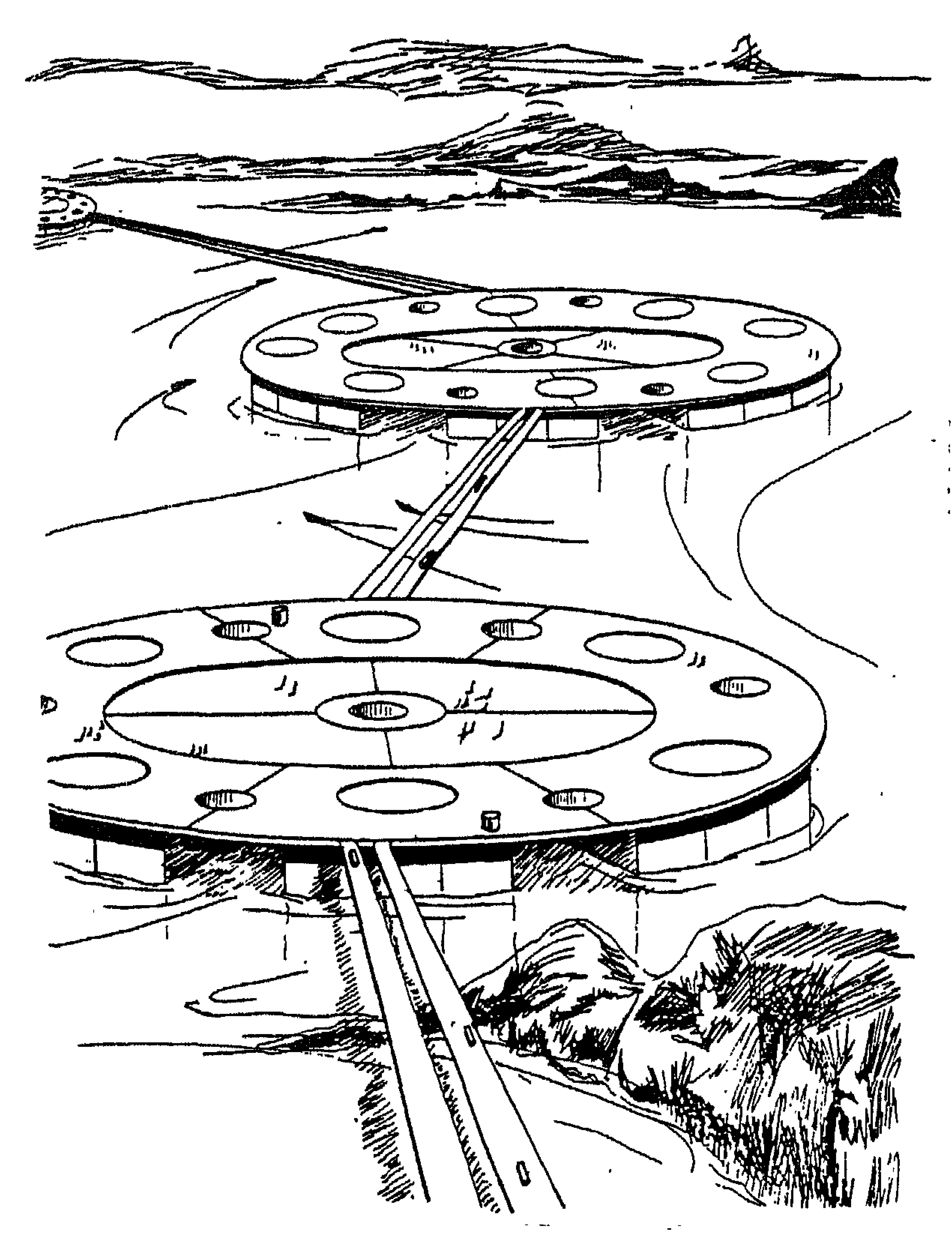
٢٥٠٠ ميل مربع) ، وما زال عطاء البحر لأهل هولندا مستمراً فعمليات استصلاح الأراضى ما زال دائباً . وتتم باقتطاع أجزاء من البحر الضحل وتسويرها بسدود ، فتصبح بهيئة حقول مغلقة ، يسمى كل حقل منها بولدر Polder ، وتضخ المياه من البولد إلى البحر المجاور ، ثم تبدأ بعد ذلك مراحل التجفيف ، والاستصلاح ، والإخصاب ، والفلاحة ، والتشييد ، والتعمير . وتدب الحياة البشرية فيها ، وكأنها لم تكن بالأمس قطعة من البحر عامرة بأسماكه .

ومن بين مشروعات الاستصلاح الهولندية ما كان ضخماً . ففى الثلاثينات تم تسوير بحر زويدر Zuider Zee ، الذى كان جوناً بحرياً ضحلاً ، بعدد من السدود Dikes عزلته عن البحر ، وقسم إلى بولدرات ، جرى استصلاحها ، وتحويلها إلى أرض زراعية خصيبة منتجة . وترك بولدر فيه، بعد تحويل مياهه إلى ماء عذب ، تنصرف إليه بعض مياه الراين ، ليخدم كمخزن للماء العذب ينفع وقت الحاجة .

وعمل الهولنديون على إغلاق منافذ الراين إلى البحر ، أثناء الخمسينات والستينات ، وأنشأوا القنوات الاصطناعية للتحكم فى المياه ، ومنع مياه البحر من التسرب إلى أراضيهم الواطئة . وأقاموا السدود العالية لحماية الأرض الجديدة من غوائل البحر ، ووقايتها من محاولاته لاستردادها ، كما فعل فى عام ١٩٥٣ ، حين فاضت مياهه فى أعقاب عاصفة هوجاء ، فتخطت السدود ، وغمرت أرضه السابقة ، وانكب الهولنديون على تجفيفها ، واستصلاحها من جديد .

وقد قامت كل من بلجيكا وبريطانيا بعمليات إقتطاع أجزاء من البحر وتجفيفها واستصلاحها على النسق الهولندى ، لكن على نطاق ضيق .

وفى بداية السبعينات حدث تحول جديد ، وخطوات أكثر جسارة ، حين دعت الحاجة لبناء منشآت فى مياه أعمق ، لمواجهة متطلبات بشرية



شكل (٥١) : مدينة المستقبل ، فوق صفحة الماء الرّقراق !!

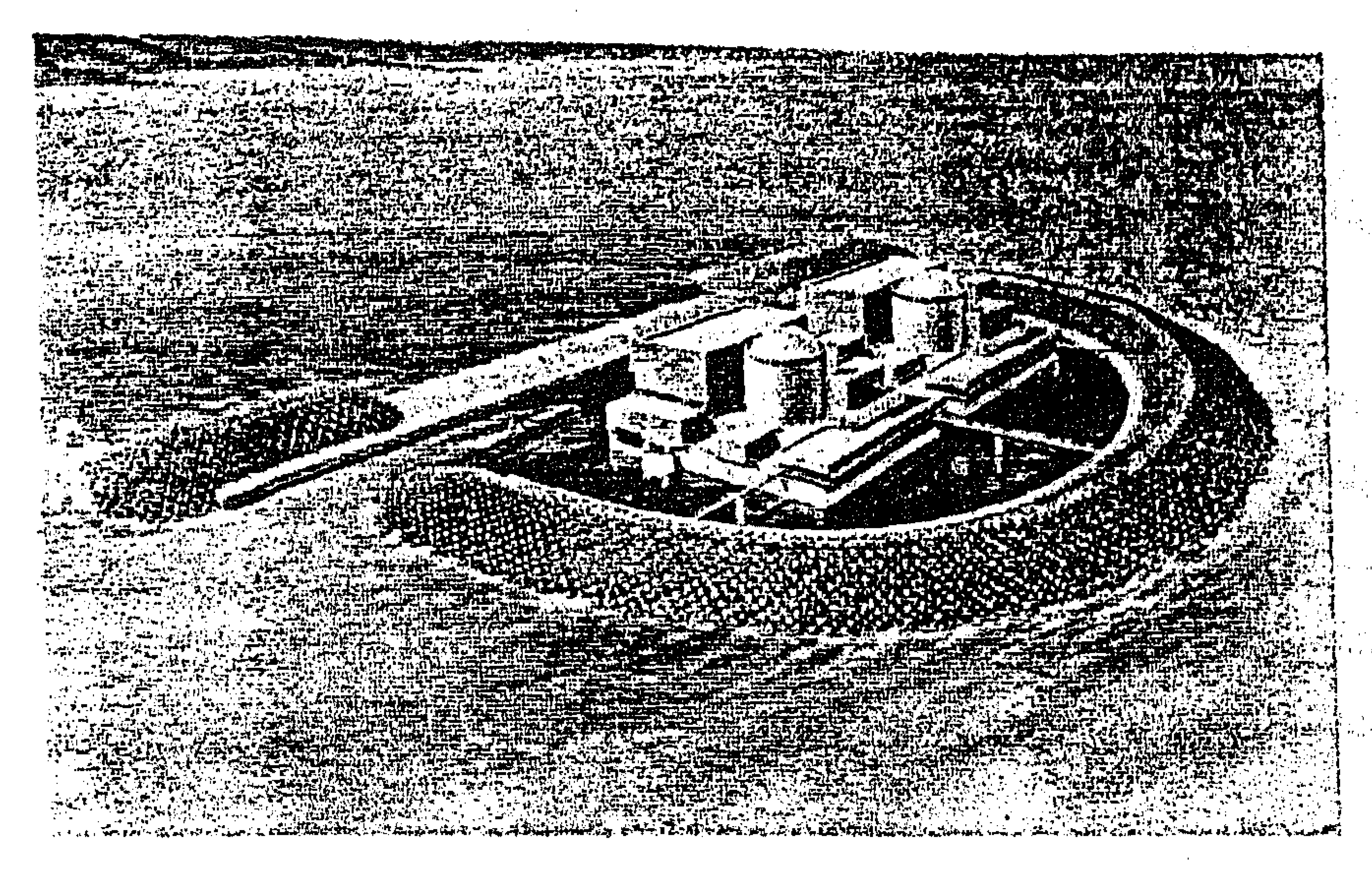
أكثر تنوعاً . من ذلك ما تم تخطيطه لبناء معامل للمجارى ، ومستودعات للمخلفات ، واختيار مراكز ومواضع لتشييد محطات ضخمة لتوليد القوى الكهربائية ، ومنشآت لموانئ المياه العميقة لخدمة ناقلات البترول العملاقة وغيرها من السفن الكبيرة ، بل إن هنالك خططاً لإنشاء مراكز صناعية ، ومطارات فى عرض البحر .

وقد استخدمت منشآت عرض البحر لشحن وتفريغ ناقلات البترول

العملاقة Super Tankers ، التى تبلغ حمولتها مئات الآلاف من أطنان البترول ، وبغاطس يصل إلى ٣٥ متراً . وكانت سفن نقل البترول قبل أواسط الستينات متوسطة الحجم ، لا يزيد غاطسها على ١٦ متراً ، لهذا كان باستطاعتها الإبحار خلال قناة السويس . وكان لإغلاق القناة فيما بين عامى ١٩٦٧ ـ ١٩٧٥ ، والاقتصاد فى نفقات النقل بسبب الحمولة الكبيرة ، أثره فى الإقبال على بناء هذه السفن العملاقة واستخدامها فى نقل البترول ، عبر المسافات الطويلة ، من مناطق إنتاجه الرئيسية حيث الفائض الكبير فى إقليم الشرق الأوسط ، إلى مراكز استهلاكه القصية : فى الشرق الأقصى حيث اليابان ، وفى الغرب الأوربى ، والغرب الأقصى الأمريكى .

ولما كانت سفن النقل العملاقة لاتستطيع الدخول فى كثير من الخلجان والمصبات الخليجية حيث تقع الموانئ ، بدون اللجوء إلى عمليات حفر وتعميق باهظة التكاليف ، فإن بناء منشآت للموانئ فى عرض البحر حيث المياه العميقة ، قد يسر الشحن والتفريغ ، وأمكن بذلك تفادى حفر المرافئ الضحلة وتعميقها . ونجد أمثلة لهذه المنشآت فى المياه العميقة فى حوض الخليج العربى ، وقد بدأت كثير من الدول فى التوسع فى استخدامها حول سواحلها وأمام موانيها ، ومنها الولايات المتحدة الأمريكية .

وقد تحول الإنسان أيضاً إلى عرض البحر لاختيار مراكز لإنشاء محطات قوى كبيرة ، وذلك بسبب الصعوبات التى يلاقيها فى العثور على مواضع صالحة على اليابس ، ولكى يتفادى مشكلات الحصول على مورد دائم وكاف من المياه الباردة . ولبعد منشآت محطات القوى عن اليابس عدة ميزات : فهى لن تسيئ إلى مظهر الشواطئ ، وبالتالى يمكن تلافى اعتراضات السكان ، كما أن بعدها عن المناطق السكنية يقلل من تعرض السكان لمخاطر الإشعاعات التى يسببها حادث عارض فى محطة القوى (أنظر شكل ٥٢) .



شكل (٥٢) : شكل تصوري لمحطة قوى في عرض البحر . وحدات توليد كهربائية نووية ، محمية من أنواء المحيط بكاسرات أمواج .

ويقترح الخبراء عدة وسائل لبناء منشآت في عرض البحر . وأبسط هذه المنشآت وأسهلها إقامة المراسي ، ومنشآت الشحن والتفريغ لناقلات البترول . ويتم ضخ البترول من البر وإليه خلال نظام من الأنابيب .

وتتضمن الخطط الهندسية بناء منشآت ضخمة ، ومركبة في عرض البحر ، حسبما جرى تصميمها في عام ١٩٧٠ / ١٩٧١ ، وحساب تكاليفها بأسعار تلك السنة . وينبغي النظر إلى التكاليف في ضوء تضاعف الأسعار عدة مرات خلال السنوات الثلاثين الأخيرة ، حتى هذا العام ١٩٩٨ . وفيما يلي ملخص لها .

١ - بناء سدود وبولدرات على نسق مماثل للنظام الذي ابتكره ونفذه الهولنديون . وتتراوح تكاليف الفدان بين ٢٠٠٠ - ٣٠٠٠٠ دولار .

٢ - ردم جزء من المحيط عن طريق عمليات البناء والحشو التقليدية بمختلف المواد . وتتراوح التكاليف بين ٨٠٠٠ - ٢٠٠٠٠٠ دولار لكل فدان .

٣ - رصيف أو منصة يتم وضعها فوق دعائم . وتبلغ تكاليف الفدان

بين ٤٠٠ ألف دولار و ٢,٢ مليون دولار .

٤ ـ رصيف أو منصة طافية ، ويقترح لذلك وسائل وأجهزة طفو عديدة . وتتراوح التكاليف بين ١,٣ مليون دولار و ٤,٣ مليون دولار .

من هذا نرى أن إنشاء جزيرة يتطلب نفقات باهظة ، ناهيك عن تكاليف تشييد منشآت مدنيّة من فوقها . وقد قدرت تكاليف إنشاء مطار فى المحيط ليحل محل مطار جون كنيدى J.F. Kennedy فى نيويورك بما راوح واحد مليار إلى ٧ مليار دولار فى عام ١٩٧١ . وبالطبع فإن منشآت أصغر حجماً تكون أقل تكلفة ، لكن معظمها لن يتكلف أقل من مئات الملايين من الدولارات .

وعلى الرغم من ارتفاع تكاليف إنشاء الجزر ، فإنه من المرجح الإقبال على بنائها فوق الرفوف القارية . وسيجرى تخطيطها بحيث تخدم أغراضاً متعددة ، لتخفيض تكاليف الإنشاءات ، وقد لايمر وقت طويل ، ونرى عمائر هذه الجزر الاصطناعية تشمخ مزهوة فى عرض البحر أمام الموانى العتيقة القابعة على اليابس الساحلى .

تلوث مياه المحيط وكوارثه

المحيط مرمى للنفايات

ناقشنا حتى الآن إمكانيات إستخدام المحيط ومياهه لاستخراج واستنباط موارده المخبوءة لاستعمالات الإنسان ومنفعته : الأسماك للطعام ، والبترول للوقود ، وعقد المنجنيز للمعدن .

ويؤدى المحيط وظائف أخرى ، قد لايأبه لها الإنسان ، لكنها فى واقع الأمر ذات أهمية حيوية . ومن بين تلك الوظائف البالغة الأهمية أنه مستودع **لإلقاء النفاية** . فكثير من المناطق تستخدم الشواطئ المحيطية لإذابة وتشتيت النفايات ، خصوصاً نفايات المدن الساحلية ومخلفات المصانع .

وتنصرف هذه **المخلفات** ، إما فى صورة ذائبة أو عالقة بالمياه ، إلى الخلجان والمرافئ ، أو بطريق مباشر فى عرض البحر بواسطة خطوط أنابيب طويلة . وتذيب مياه المحيط هذه المخلفات ، ثم تدفعها التيارات المائية البحرية ، وتشتتها . وفى معامل النفايات التى يجرى تصميمها بطريقة سليمة ، تنقل الفضلات من مركز الصرف إلى عرض المحيط حيث تتحلل وتتبعثر على نحو ما شرحنا .

أما إذا كانت **عمليات تصريف النفايات قاصرة** ، ولاتعمل بطريقة سليمة ، أو أنها تعمل فوق طاقتها ، أو قد حملت مياه المحيط الساحلية فوق قدرتها ، فإن تركيزات النفايات قد تتراكم إلى حدود ملوحظة ، وتجعل المياه الساحلية غير صالحة للإستعمال لأغراض أخرى . وإذا ما وصلت حالة المياه الساحلية إلى هذه الحالة ، **فإنه يقال إن مياه البحر ملوثة ، وتظهر حينئذ مشكلة « تلوث مياه البحر » Marine Pollution ، كما حدث بالنسبة لمياه شواطئ مدينة الإسكندرية .**

وقد اقترح أن يستخدم المحيط العميق كمستودع **للفضلات السامة ، ولمخلفات المواد المشعة** . فتوضع المخلفات بعد تركيزها فى أوعية محكمة الإغلاق ، ومناط بها أثقال ، وتدلى فى المحيط لتستقر على قاعه العميق ، حيث تبقى بعيداً عن منال الإنسان لفترات طويلة من الزمن . وإذا ما حدث وبدأت تلك الأوعية تنز ، وترشح منها الفضلات ، فإن الكميات الهائلة من المياه التى تعلوها ، والمسافة الكبيرة بين مواضعها ومراكز العمران البشرى ، حقيقة بأن تزيل أى أثر ضار يمكن أن ينجم عنها . وتبعاً لذلك فلن تنشأ مشكلات تلوث خاصة بها ، **وقد تبيّن مؤخرا أن هذا مخالف للواقع ، فالكارثة لا محالة واقعة مع كثرة ما يُلقى من فضلات المواد المشعة ، التى لاشك ستكون ذات تأثير قاتل بمرور الزمن .**

إن تأثيرات عمليات إلقاء النفايات فى المحيط مائعة ويصعب التحقق منها بصورة دقيقة مرضية . وتتعقد هذه المشكلة حينما لاتتوفر معلومات

عن حالة مياه المحيط قبل بداية إلقاء النفايات البرية فيها ، وهذا ما يحدث فى الأغلب الأعم .

ويُعدُّ البحر المتوسط من أكثر المسطحات المائية عُرضة لأخطار التلوث الإشعاعى ، الذى يُهدّد شواطئه ، وسواحل مصر . ذلك أن ستَّة أقطار تطلُّ عليه ، بها مناجم لتعدين « اليورانيوم » . وتوجد محطات نووية ضخمة وكثيرة على ضفاف الأنهار التى تلقى مياه التبريد الملوثة فى تلك الأنهار ، والتى تصب فى البحر المتوسط (منها نهر « الرون » فى فرنسا و«البو » فى إيطاليا) ، وفضلا عن وجود عشرة معامل نووية مقامة على شواطئ البحر المتوسط ، نصفها على شواطئ إسرائيل ، لإعذاب (تحلية) مياه البحر .

ولكى نرى بعضا من التعقيدات المتصلة بإلقاء النفايات فى البحر ، نشير إلى مشكلة المواد المغذية Nutrients فى مياهه .

إن مواد الفوسفات والنيترات ، وهما لازمان للنمو النباتى فى البحر، تنصرف إلى المياه الساحلية بواسطة معامل معاملة مياه المجارى ، وعن طريق الجريان السطحى من الأراضى الزراعية التى حدث تخصيبها مسبقاً بأسمدة فوسفاتية ونيتراتية ، وبالتصريف من البواليع ، والشاحنات ، ومن مخلفات المجارى المباشرة فى المناطق التى تفتقر إلى معامل لمعاملتها .

وتتميز المياه الساحلية باحتوائها على مقادير كبيرة من تركيزات المواد المغذية تفوق ما يوجد منها فى مياه عرض المحيط ، وكانت دائماً وماتزال أكثر خصباً وإنتاجية .

ويضاف إلى الاضطراب الذى يحدث فى المواد المغذية ، التوازن الحساس بين إنتاج الغذاء واستهلاكه . ففى بعض الأحيان يكثر الفيتوبلانكتون ويبلغ درجة من الوفرة بحيث يزيد الإنتاج عما تستهلكه الحيوانات البحرية على قاع المحيط .

هذا ويمكن تقسيم الملوثات المائية إلى مصدرين هما :

مصدر تلوث طبيعي ، ومصدر تلوث بشري

مصدر التلوث الطبيعي للمياه :

هو مصدر قائم منذ أن ظهرت الحياة على وجه الأرض منذ تكون الغلاف الغازي ، وكان ذلك على الأرجح مع بداية الزمن الأول ، وهو زمن الحياة القديمة ، ظهرت الأحياء النباتية والحيوانية في البر وفي البحر ، وللأحياء دورة حياة ، بانتهائها تأخذ مخلفاتها العضوية طريقها إلى المياه ، إلى البحر ، فكل الأنهار تجري إلى البحر ، وتلقي به ما تحويه من مواد ، وما تحمله من حمولة عالقة وذائبة .

مصادر التلوث البشري للمياه :

هي مصادر متعددة ، للنشاط الإنساني الذي ينبغي أن يعي أهمية المياه سواء كانت مياه نهر عذبة ، أو مياه بحر أو محيط مالحة ، ويمكننا إحصاء ملوثات المياه التي يسببها الإنسان فيما يلي :

الصرف الصحي ، الصرف الزراعي ، ملوثات النشاط الصناعي ، التلوث الحراري ، البترول ، مخلفات المواد المشعة ، الأمطار الحامضية .

وفيما يلي دراسة موجزة عن الآثار الضارة لكل من تلك الملوثات لمياه البحار والمحيطات ، وانعكاستها المؤذية بالضرورة على حياة الإنسان وأنشطته الإقتصادية ...

الصرف الصحي

لجأت معظم دول العالم البحرية الموقع إلى التخلص من فضلات مجاري مدنها الساحلية وموانيها في البحر ، اعتماداً على أن عظم كميات المياه البحرية كفيلة بإذابة وتشتيت تلك الفضلات ، كما سبق وذكرنا ، وهذا ما فعلته مدينة الإسكندرية منذ عقدين ، وعانت شواطئ

المدينة من التلوّث الذى حدا بكثير من المصطافين إلى هجرها ، والاتجاه إلى أماكن أخرى بالساحل الشمالى ، وإلى سواحل البحر الأحمر .

وعلى الرغم من أن الدول التى تقع على سواحل المحيطات الكبرى قد لا تلحظ التلوث الذى يصيب مياه سواحلها من نفايات الصرف الصحى ، فإن البلدان التى تقع على بحار شبه مغلقة كالبحر المتوسط ، والبحر الأسود ، تعانى مياه سواحلها من التلوث . لذلك فقد لجأت معظم الدول المطلة على مثل هذه البحار على بناء محطات لتنقية ومعالجة نفايات الصرف الصحى قبل صرفها فى البحر . كما أقامت مراكز لقياس محتوى المياه بعد معالجتها للاطمئنان على خلوها من الملوثات .

الصرف الزراعى :

تتعرض المسطحات البحرية ، ومنها البحر المتوسط للتلوث من مياه الصرف الزراعى ، التى ترد إليها عن طريق محطات الصرف المائى الزراعى، كما هى الحال فى مصر ، حيث تتجمع المصارف الزراعية عند تلك المحطات ، التى تقوم برفع مياه الصرف ، وإلقائها فى البحر ، ففى منطقة المكس الواقعة غرب الإسكندرية محطات تقوم برفع مياه الصرف التى تجمعت فى بحيرة مريوط ، وتلقيها فى البحر المتوسط ، وذلك حتى يبقى مستوى مياه بحيرة مريوط على مستوى ٣ متر تحت منسوب البحر . ولاشك أن مياه البحر فى تلك المنطقة شديدة التلوث ، فضلا عن البحيرة ذاتها التى يمكن أن تكون موضعا عالميا للسياحة المائية . خاصة وأن نطاق الساحل الشمالى المصرى ، قد امتلأ وغُطِّىَ بقرى تَصْييفيّة تغلب عليها صفة الممتلكات الخاصة ، تبدو كالغابة المقفرة شتاء وحتى فى الصيف .

ويأتى تلوث البحر المتوسط أيضا عند الصرف الزراعى والصحى فى بحيرة المنزلة ، التى كانت حتى بداية خمسينيات هذا القرن العشرين ، تُعدّ من أخصب بحيرات العالم وأغناها بالمواد الغذائية الطبيعية للأسماك ،

ذلك لأن قاعها يتكوّن أساسا من طمى النيل ، الذى كان يرد إليها سنويا مع الفيضان قبل إنشاء السدّ العالى ، وهذا الطمى يحتوى على معادن لها قدرة على امتصاص العناصر الثقيلة كالزئبق ، والرصاص ، والكاديوم ، والكروم، والعناصر المغذية ، لذلك كانت أكثر من غيرها ملاءمة لنمو وتكاثر الطحالب والنباتات والأسماك . ويصب فيها الآن مصرف بحر البقر، ومصرف السرو ، وفارسكور ، والإيراد ، والنظام ، والجنينة .

وعدا مياه الصرف الزراعى ، يحمل مصرف بحر البقر مياه الصرف الصحى لمحافظات القاهرة والقليوبية والشرقية ، مما يجعل مياه البحيرة غاية فى التلوث الذى ينعكس بدوره على مياه البحر المتوسط المجاورة ، ويأتى إلى البحيرة يوميًّا ما مقداره ٨,٣ مليون مترا مكعبا من مياه الصرف ، حاملة معها إلى البحيرة كميات هائلة من الأملاح ؛ وكاتيونات الكالسيوم والمغنسيوم والصوديوم والبوتاسيوم ، والمعادن الثقيلة : الزنك والنحاس ، والمنجنيز ، والكاديوم ، والرصاص ، والكبريت ، وكلها تختزن فى أجسام النباتات والطحالب والأسماك ، ويؤدى تناول الأسماك إلى العديد من الأمراض ، كالفشل الكلوى ، والسرطان . وإن الذى قد رأى مياه بحيرة المنزلة فى أوائل خمسينيات هذا القرن ، ويراها الآن ، لينكرها كل الإنكار . فلون مياهها ، من شدة التلوث ، صار أحمرا ، ولايستطيع أن يشمّ هواء البحيرة المتعفنة إلاّ من وراء قناع (كمامة) واقٍ . ويحرص الصيادون على ارتداء الأقنعة الواقية لحماية الوجه والعينين من أضرار التلوث ، ويصيدون أسماكا فاسدة ويبيعونها فى الأسواق رغم أنها تحمل الأذى والأمراض العضال لآكليها .

نفايات النشاط الصناعى :

تتركز المنشآت الصناعية عادة بالقرب من موارد المياه سواء كانت بحارا أو أنهارا ، وذلك للإفادة من النقل المائى الرخيص سواء فى الحصول على المواد الخام اللازمة للصناعة ، أو لتسويق المنتجات السلعية ، وكذلك لسهولة الحصول على المياه اللازمة للتصنيع ، ولتبريد الآلات . ويكفى أن

نذكر أكبر إقليم صناعى فى أوروبا ، وهو « إقليم نهر الراين » الذى يمتد ، بغض النظر عن الوحدات السياسية ، من سويسرا ، عبر ألمانيا ، وفرنسا ، إلى بلجيكا وهولندا ، فلا تكاد ترى مياه الراين التى تغطيها الصنادل النهرية حاملة للمواد الخام ، وموارد الطاقة (الفحم) والمعادن ، ثم السلع المصنوعة إلى موانى التصدير والاستيراد العظمى : هامبورج ، أمستردام ، روتردام . ومثل هذا يقال عن أكبر إقليم صناعى فى العالم وهو إقليم السانت لورانس والبحيرات العظمى فى شمال شرق الولايات المتحدة الأمريكية . ولاننسى نهر الدانوب الثالث فى الأهمية من وجهة خدمته للصناعة والمنشآت الصناعية المنتشرة على جانبيه .

وتأخذ مخلفات المصانع طريقها إلى البحر بسبيل مباشر ، حينما تكون مركزه على النطاق الساحلى ، أو بطريق غير مباشر عن طريق الأنهار التى تصب فى البحار . ونفايات المصانع تحوى مواد كيماوية ومعدنية مؤذية بل وسامة لمخلوقات الله فى البحر ، كما أنّ الأحياء البحرية تختزن هذه المواد المؤذية فى أجسامها ورؤوسها ، ومنها الزئبق ، والنحاس ، والرصاص ، والكاديوم ، والزنك ، وكلها مسببات لتسمم الإنسان ، وإصابته بالسرطان والفشل الكلوى ، كما أسلفنا .

ويصحُّ هنا أن نذكر خطر التلوث بالنسبة للنهر الخالد ، نهر النيل، فعلى امتداد طوله من أسوان حتى البحر المتوسط ، تكثر المصانع ، التى تلقى بالنفايات الصناعية ، والملوثات العضوية فيه وفى الترع الرئيسية ، وبوجه خاص فى مصانع سباكة الألومنيوم (عددها ٨٠ مصنعا) ، ومصانع النسيج ، والمبيدات ، والأسمدة ، ومصانع الحديد والصلب ، ومصانع الأسمنت ... وغيرها كثير ، وكلها تقريبا تستخدم السولار ، باستثناء مصنع الألمنيوم الكبير فى كوم امبو الذى يستخدم الكهرباء . وجميع هذه المصانع وغيرها يلقى بفضلات المصانع ومياه التبريد المحتوية على مواد عضوية فى النهر وترعه ، مما يجعل مياهه ملوثه ، وما ينصرف منها للبحر المتوسط يلوثه أيضا .

هذا وتؤكد نتائج الأبحاث أن نيل مصر يتلقى نحو ٥٧٪ من مخلفات الصرف الصناعى ، و ٢١٪ من المصارف الزراعية الملوثة بالمبيدات الحشرية والأملاح ، و ١٣٪ من مجارى الصرف الصحى ، ٩٪ من المياه الجوفية والبحيرات . وتقول الإحصاءات إن حوالى ٢٨٠ مليون مترا مكعبا من مخلفات مصانع الصناعات الغذائية دون معالجة تصل إلى النيل ، تليها فى المرتبة الثانية الصناعات الكيمائية بمقدار ١٠٠ مليون مترا مكعبا، ثم صناعة الغزل والنسيج التى تلقى فى النيل ٩٠ مليونا من الأمتار المكعبة ، والصناعات المعدنية ٦٠ مليونا ، وعمليات التعدين ١٤ مليونا ، والصناعات الهندسية ١٢ مليونا . وتحتل القاهرة من بين المدن المرتبة الأولى فى الصرف الصحى والصرف الصناعى ، وتأتى بعدها «بطبيعة الحال» مدينة الإسكندرية التى تلقى بنفايتها فى البحر المتوسط ، هذا وتصرف القاهرة إلى النيل نحو ١٠٠ طن يوميا من الزيوت والشحوم، ونفس القدر أو يزيد قليلا من المواد العالقة شديدة السمية .

التلوث الحرارى :

يحدث التلوث الحرارى للمياه من النشاط الصناعى عن طريق محطات توليد الطاقة الكهربائية ، وعن طريق ما تلقيه المصانع من مياه ساخنة ، وهى المياه المستخدمة فى تبريد الآلات . وتضر المياه الساخنة التى تنسكب فى البحار والمحيطات بالبيئة المائية الصالحة لحياة النبات والحيوان البحرى . وارتفاع حرارة مياه البحر عن القدر المعتاد للأحياء فى البحر ، لأنه يجعلها تستهلك قدرا أكبر من الأكسجين ، ومن ثم يحدث نقص فى الأوكسيجين المذاب فى مياه البحر ، وهذا من شأنه إلحاق الضرر بالثروة السمكية . أضف إلى ذلك أن الماء الساخن يُحلِّلُ الأوكسيجين الذائب فى الماء ، ويقلل من قدرة المياه على امتصاص الأوكسيجين من الجو، ويتسببُ فى نقص كميات الأوكسيجين فى المياه ، مما يترتب عليه موت الأسماك ، أو الإبطاء فى نموها ، أو فى هجرتها إلى مناطق أخرى فى البحر ، ومعلوم أن الأسماك لاتستطيع الحياة فى مياه تزيد درجة حرارتها على ٣٤ درجة مئوية .

البترول :

يُعدُّ البترول ومشتقاته من أهم الملوثات المائية ، التى تتميز بانتشارها السريع ، حيث يصل الانتشار بسرعة لمسافة تصل إلى مئات الكيلومترات . ويكوّن البترول طبقة رقيقة عازلة ، تعوق امتصاص مياه البحر أو المحيط لغازات الجو خصوصا منها الأوكسيجين ، ومن ثم يحرم أحياء البحر من الأوكسيجين اللازم لحياتها . وتحجب تلك الطبقة ضوء الشمس ، وتمنعه من الوصول إلى المستوى السطحى من المياه ، حيث تطفو النباتات الطافية Phyto Plankton ، فتعرقل عملية التمثيل الضوئى، إضافة إلى الإضرار بالنبات الطافى ، والحيوان الطافى أيضا Zoo Plankton. وتتعرض طبقة البترول الرابطة فوق سطح الماء بسبب خفّتها ، للأمواج والرياح التى تدفع بها نحو الشواطئ والبلاچات فتلوثها ، فيهجرها السائحون ، وتسبب الملوثات البترولية الأخرى الأذَى بالشعاب المرجانية ، وإلحاق الضرر بالطيور المائية التى يصيبها التسمم والهلاك ، وفقدان القدرة على الهروب بالطيران لتعلق زيت البترول بأجنحتها وأقدامها . وصفوة القول أن البترول إذا ما اتسع نطاق انتشاره فوق المسطحات المائية البحرية ، فإنه يُصيبها بالجدب والتّصحُّر .

وتتمثل مصادر تسرب البترول التى تسهم فى تلويث مياه البحار والمحيطات فيما يلى :

١ ـ تسرب البترول من ناقلات البترول بسبب الانفجار والانشطار والتصادم .

٢ ـ تسرب البترول من الحقول البحرية .

٣ ـ تسرب البترول أثناء عمليات البحث عنه وحفر آبار استخراجه .

٤ ـ تسرب البترول حينما يحدث خطأ فى عمليتى الشحن والتفريغ.

٥ ـ فضلات الناقلات

٦ ـ إلقاء مياه الموازنة ومايصاحبها من بقايا البترول تمهيدا للشحن.

٧ ـ الحروب خصوصا إذا ماقامت بين دول بترولية .

(١) كثيرا ما نسمع عن حوادث انشطار ناقلات بترول بسبب اصدامها ببعضها ، أوبشعاب مرجانية ، أو لعيوب فى هيكلها ، فتنساب كميات ضخمة من البترول ، تغطى مساحات بحرية كبيرة . مثال ذلك الناقلة التى تحطمت قرب شواطئ انجلترا فى عام ١٩٦٧ ، وأسمها تورى كاينون Torry Caynon ، وكانت تحمل ١٢٠ ألف طن ، انتشرت مكونة بُقْعَةً فسيحة امتدت لمسافة ٣٢٠ كم على امتداد شواطئ جنوب وغرب انجلترا . وبُذلت جهود كبيرة للتخلص منها بواسطة الكيماويات التى أذابتها ، وجعلتها تترسب على قاع بحر الشمال ، ولاشك أن البترول وكيماويات مُذيباته هى مواد سامة ضارة بمخلوقات الله فى قاع بحر الشمال ، وكان ذلك فى ١٨ مارس ١٩٦٧ .

وحوداث ناقلات البترول كثيرة ، والبترول الملوث لمياه البحر الذى يتسرب منها كثير أيضا . وفيما يلى مجرد أمثلة تظهر مقدار الدمار الذى تلحقه بالثروة المائية :

يونيه ١٩٦٨ تسرب ألف طن من ناقلة أصيبت بحادث فى مياه جنوب أفريقيا .

مارس ١٩٧٠ تسرب ١٠٠ ألف طن بترول من ناقلة إثر حادث اصطدام أمام سواحل السويد

ديسمبر ١٩٧٢ تسرب ١١٥ ألف طن بترول من ناقلة بسبب حادث أمام سواحل سلطنة عمان

مايو ١٩٧٦ تسرب ١٠٠ ألف طن بترول إثر حادث انفجار للناقلة «أوكيولا» قرب سواحل أسبانيا .

يوليو ١٩٧٩ تسرب كميات هائلة من البترول بسبب اصطدام

ناقلتين فى خليج المكسيك .

فبراير ١٩٨٧ تسرب ٥٠٠ ألف طن إلى مياه بحر البلطيق بسبب جنوح سفينة روسية .

١٩٨٧ كارثة الناقلة « أماكموكاديس » أمام سواحل فرنسا ، وتسرب أكثر من ١,٦ مليون برميل من البترول الخام .

١٩٩٣ إصطدام عبارة بناقلة بترول إيطالية أمام سواحل ميناء « ليفورن » الإيطالى ، مما أدى إلى اشتعال النار فى الناقلة ، وتسرب كميات كبيرة من البترول إلى مياه الحر تُقدَّر بنحو ٤٠ مليون برميل .

١٩٩٣ كارثة غرق ناقلة البترول القبرصية « هافن » بحمولتها ، وتسرب أكثر من مليون برميل خام إلى مياه البحر المتوسط .

(٢) سبق أن ذكرنا أن حقول البترول البحرية أصبحت تتفوق فى إنتاجها على الحقول البرِّيّة . ويحدث بين وقت وآخر أن نسمع عن أنفجار بئر بحرى ، وتسرب بتروله إلى مياه البحر ، كما حدث فى عام ١٩٧٨ ، حين انفجر بئر فى قاع بحر الشمال ، وأخذ البترول ينبثق منه طوال ثلاثة أسابيع حتى تمّ إغلاقه ، وقد تسرب منه نحو ٥٠٠ ألف طن ، وبعد ذلك بعام واحد (عام ١٩٧٩) انفجر بئر آخر فى قاع خليج المكسيك ، وتدفقت منه كميات من البترول بلغ مقدارها مليون طن على مدى ثلاثة أشهر ، إلى أن نجح المختصون فى إصلاحه .

وهناك حوادث مماثلة فى الخليج العربى ، منها انفجار حقل النوروز الإيرانى فى فبراير ١٩٨٣ الذى استمر ينبثق منه البترول ملوثا مياه الخليج لمدة ثمانية أشهر ، حتى نوفمبر ١٩٨٣ .

(٣) نظرا لنضوب كثير من حقول البترول البرية ، أو النقصان التدريجى فى إنتاجها ، اتجه البحث والتنقيب إلى الشواطئ ، وإلى قيعان البحار فى مناطق الرفوف القارية ، بل إن البحث والتنقيب يأخذ طريقه الآن إلى نطاقات المنحدرات القارية . وفى أثناء حفر آبار الاختبار ثم آبار

الاستغلال تتسرب كميات من البترول ، وقد يتعرض بعضها للانفجار ، كما سبق ذكره ، وكما حدث لمنصة أحد الآبار البحرية في المملكة السعودية في اكتوبر ١٩٨٠ ، حين تدفق حوالى ٨٠ ألف برميل ، انتشرت فى مساحة بلغ طولها ٩٥ كم وعرضها ٣٠ مترا ، وتسببت فى تلوث مياه كل من السعودية وقطر والبحرين في الخليج العربي . وكان من الضرورى أن تتوقف عمليات إعْذَابُ (تحلية) مياه الخليج ، حتى ينتهى التخلص من بقعة الزيت السامة . وإمكانية تكرار هذه الأحداث قائمة ، نظرا لازدياد نشاط إستغلال البترول من قاع الخليج العربى ، خاصة فى منطقة «الخفجى» التى تضم حقولها ٢١٤ بئرا ، ودولة الإمارات ، ثم حقول النفط الإيرانية .

(٤) التسرب نتيجة الخلل فى الشحن والتفريغ :

وهذه عملية كثيرا ما تحدث نتيجة لخلل يحدث فى أجهزة شحن خزانات الناقلات ، أو تمزق خراطيم توصيل البترول إلى الخزانات ، ومن ثمْ تنساب كميات كبيرة من البترول تحدث التلوث . ومثال ذلك تسرب كميات من البترول بلغ مقدارها حوالى ٢٥٠٠ طن أثناء شحن ناقلة بترول من ميناء الغردقة على البحر الأحمر فى أغسطس عام ١٩٨٢.

(٥) فضلات الناقلات وإلقاء مياه الموازنة فى البحر والغسيل الدورى للخزانات :

تلجأ كثير من الناقلات إلى التخلص من زيوتها المتبقية بإلقائها فى البحر ، كما تعمد إلى تفريغ مخازن البترول فيها من المياه حين تصل إلى موانى الشحن ، ذلك أنَّ الناقلات تملأ مستودعاتها بالمياه ، قبل قيامها برحلة العودة للشحن من موانى التصدير ، بنسبة تتراوح بين ٦٠ ـ ٧٠ ٪ من حمولة مستودعاتها ، كى يتحقق لها التوازن أثناء إبحارها . وقبل أن تدخل ميناء الشحن تُفرغ كل هذه الحمولة من المياه الملوثة بالبترول فى المياه الإقليمية للدول المصدرة ، أَضِفْ إلى ذلك عمليات الغسيل الدورى

للخزانات . وتحدث عمليات التسرب أيضا من مستودعات بعض الناقلات القديمة . وتتم عمليات التسرب ، وبالتالى التلوث البترولى لمياه البحار والمحيطات على امتداد رحلاتها عبر البحار . ويزداد التلوث فى البحار شبه المغلقة والخلجان خصوصا حيثما كانت أحواضها منتجة ومصدرة للبترول مثل البحر المتوسط والبحر الأحمر ، والخليج العربى ، ومنطقة البحر الكاريبى وخليج المكسيك .

ولا ينبغى أن ننسى كوارث تلويث مياه البحر الأحمر بالبترول وفضلاته ، والتأثير السيِّئ الذى تمارسه على الشعاب المرجانية ، وعلى الشواطئ ، وحركة السياحة . فقد كانت سفن الشحن تقوم بغسل خزاناتها بعد الخروج من القناة ، وكثيرا ما كان الزِّيت يتسرب من الناقلات إلى مياه البحر الأحمر فيلوثها .

الحروب :

تشكل الحروب بعامة ، ومايصاحبها من عمليات حربية بحرية ، سببا من أسباب تلوث مياه البحار والمحيطات بالبترول ، ناهيك عن النفايات التى تلقى بها فى البحر . خصوصا إذا ما استمرت هذه الحروب فترات طويلة من الزمن ، كالحرب العالمية الثانية التى دامت أكثر من خمس سنوات (١٩٣٩ ـ ١٩٤٥) ، إذ يلازمها تحطيم ناقلات البترول ، والسفن التجارية والحربية التى تسير بقوة البترول .

ويزداد الأمر سوءا حينما تنشب حرب بين دولتين بتروليتين أو أكثر، كما حدث بين العراق وإيران ، وقيام الحرب بينهما التى دامت من صيف ١٩٨٠ حتى أواخر الثمانينيات ، والتى تسببت فى إغراق الخليج العربى بالبترول المراق من حقل النوروز الإيرانى على إثر قصفه بالقوات العراقية ، والذى ظلّ ينزف فى الخليج طوال ثمانية أشهر ، أهدرت أثناءه كميات من البترول بلغت نحو ٦٢٩ ألف طن ، ألحقت الأذى بالثروة السمكية .

ولجأت القوات العراقية قبل انسحابها من الكويت بداية من ٢٣ يناير ١٩٩١ ، إلى تفجير أكثر من ٦٥٠ بئرا للبترول بالكويت ، ظلت النار مشتعلة فيها قرابة ستة أشهر ، وتسرب منها إلى مياه الخليج نحو مليون طن من خام البترول ، لوّثت مياه الخليج ، وقضت على ثروته من الأسماك والروبيان والطيور . كما أنشأ الزيت الخام المنبثق من آبار البترول بحيرات بترولية على اليابس ، مايزال الكثير منها موجودا حتى الآن ، وتعدُّ مزارا ، ومقصدا للرحلات المدرسية وغير المدرسية ، كى يرى الإنسان مايفعله بأخيه الإنسان طمعا وجشعا .

إن كوارث البحار التى تُطلّ عليها البلاد العربية والتى يُسببها التلوث بالمواد البترولية ، وهى البحر المتوسط ، والبحر الأحمر ، والبحر العربى ، والخليج العربى ، وما ينشأ عنها من تدمير للثروة السمكية ، وتخريب للنشاط السياحى ، لتلُحّ فى مجابهتها بوضع سياسة حازمة لمنع وقوعها ، والاستعداد الكامل لمواجهتها قبل وقوعها :

- يجب وضع خطط قومية ، وأجهزة طوارئ ، لمجابهة التلوث بالبترول .

- يجب رفع كفاءة أجهزة الرقابة على امتداد الشواطئ ، وفى المياه الإقليمية ، لمراقبة السفن التى تُلقى بفضلات البترول أو تقوم بغسل خزاناتها فى المياه الإقليمية .

- العمل على استخدام أحدث ما وصلت إليه التكنولوجيا من أجهزة البحث والتنقيب والحفر والإستخراج والنقل ، لمنع تسرب البترول إلى المياه البحرية .

- التوسع فى الإفادة من المخلفات والملوثات ، بحسبانها موارد مهدرة، ومثال ذلك « الصابورة » (فضلات السفن ونقل البترول) التى تلقيها السفن وناقلات البترول فى البحر ، والتى يمكن منها استخلاص نسبة من البترول .

الفصل السابع

الغـــلاف المائى

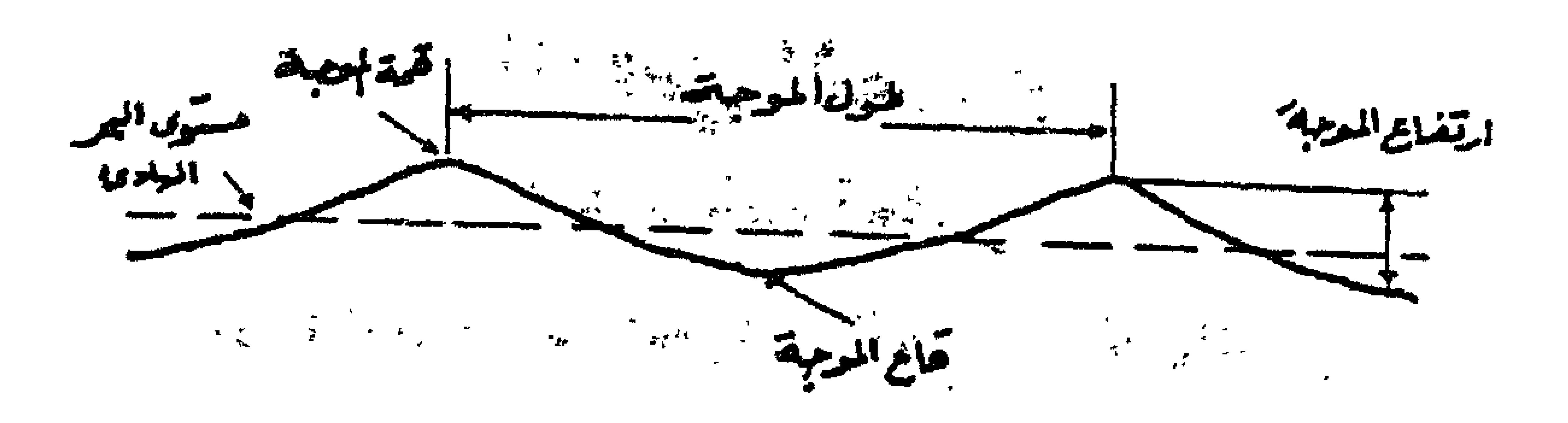
حركات المياه فى المحيط : الأمواج - المد والجزر

أولا : الأمواج وكوارثها

حينما يضطرب سطح البحر تنشأ الأمواج . وأهم ما يميز حركة الموجة أنه حينما تمر على سطح الماء بسرعة معينة ، فإن المياه نفسها تعلو وتنخفض فى حركة متسقة منتظمة . وهناك ارتباط بين طول الموجة وقوتها ، وعمق المياه ، وهو يقاس بعمليات حسابية تفسر الإختلاف فى إتجاه أو خط سير الأمواج التى تنشأ فى مياه عميقة ، وحين تصل إلى مياه ضحلة . تنشأ الأمواج عادة من هبوب الرياح والعواصف ، فمعظم الأمواج ناتجة عن تأثير حركة الرياح على الماء . غير أن الأمواج قد تنشأ بتأثير حركات المد والجزر ، كما تنشأ أيضاً من تأثير الزلازل والبراكين فى قاع المحيط . ونظام سير الأمواج فى البحار والمحيطات نظام مضطرب ، فهو خليط من الأمواج فى شكل مجموعات أو سلاسل ، تختلط ببعضها فى تناسق وتسابق وتلاحق مستمر .

وتتباين المجموعات الموجية بحسب مكان نشأتها ، وطريقة تلك النشأة ، وبحسب سرعتها واتجاه حركتها ، فبعض المجموعات تنشأ لتموت، وبعضها يقطع مسافات هائلة ، قد يصل بعدها إلى السواحل عاليا **فيحدث التخريب والتدمير .**

ولكل موجة ارتفاع يقاس من قاعها إلى قمتها ، ولها طول يعبر عنه بالمسافة بين قمتها وقمة الموجة التالية لها . أما مدة الموجة Wave Period فهو تعبير يُقصد به الفترة الزمنية بين لحظتى مرور قمتين متتاليتين بنقطة معينة . وهذه المقاييس متغيرة وغير ثابتة ، وترتبط بعمق المياه وبحركة الرياح . وجدير بالذكر أن كتلة المياه لا تتحرك ولا تنتقل مع الموجة، ولكن الذى ينتقل هو الطاقة الدافعة . فجزئيات الماء تتحرك فى



شكل (٥٣) : موجة بحرية بسيطة وأجزاؤها . يمكن حساب سرعة الموجة بضرب مقدار طول الموجة فى مدة الموجة . وهناك صلة وثيقة بين العناصر الثلاثة : السرعة ، والطول ، والمدة . وبالتالى يمكن إيجاد العنصر المجهول مادام العنصران الآخران معلومين . أما ارتفاع الموجة فيمكن تقديره بالمشاهدة . ويمكن معرفة إنحدار الموجة بإيجاد النسبة بين ارتفاع الموجة وطول الموجة .

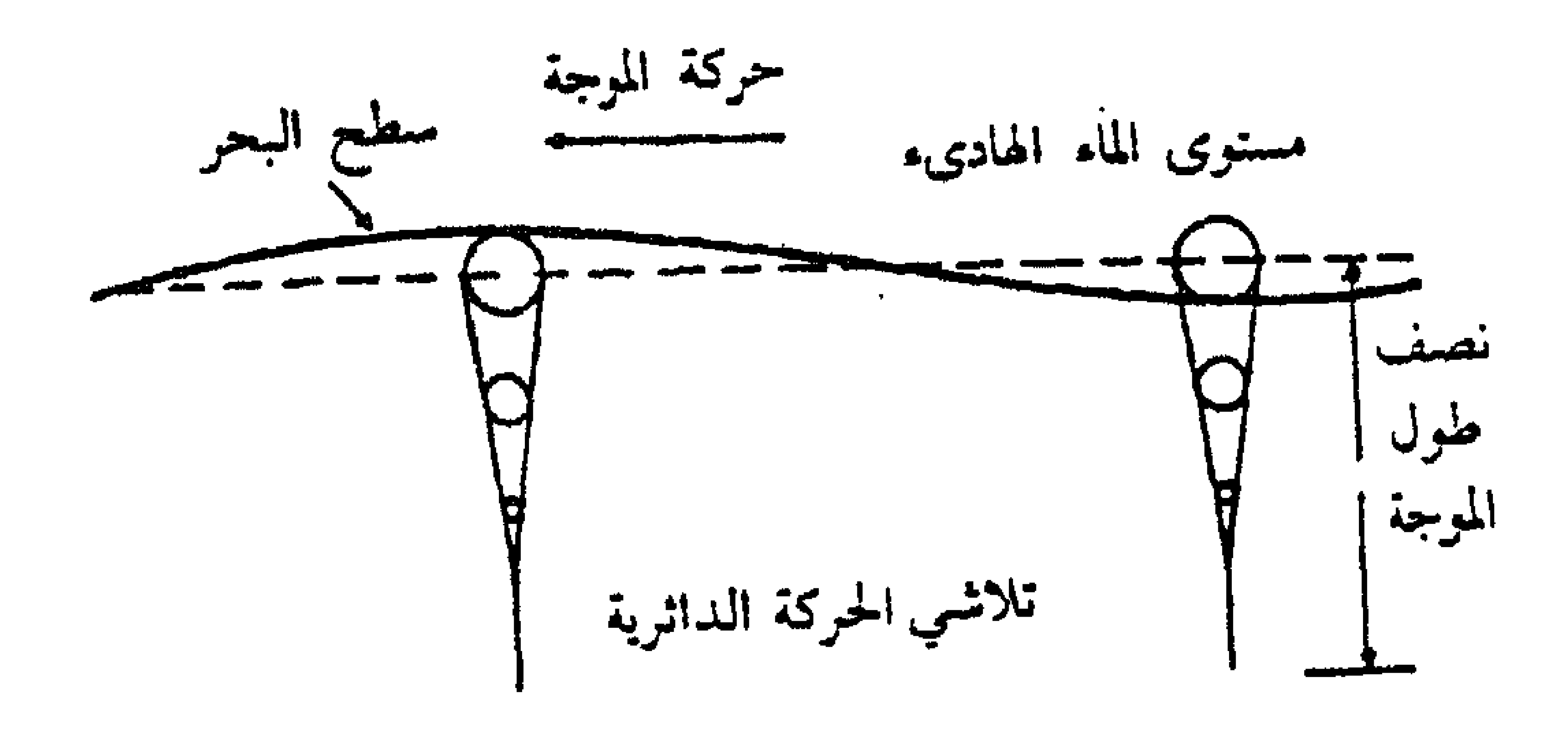
مسار دائرى أو بيضاوى يتعامد على خط مرور الموجة ، ثم تعود قريبا جدا من مكانها الأصلى . ولو تحركت كتل الماء مع الأمواج بالفعل لأصبحت الملاحة البحرية مستحيلة ولتعذّرت السكنى بجوار السواحل البحرية .

ويمكن تمثيل حركة الموجة بقطعة من الفلين تطفو فوق مياه متماوجة ، فإنها تعلو وتنخفض مع الموج ، ولكنها لاتكاد تغيّر موضعها مالم تجرفها بالفعل رياح أو تيار مائى . وشبيه بذلك تمايل سنابل القمح ، وتموجها مع الريح .

وتنشأ أكبر الأمواج فى المحيطات لاتساع المجال الذى يُعبّر عنه بطول الإمتداد Length Fetch ، وهو المسافة التى تقطعها الأمواج مدفوعة برياح دائمة الهبوب فى اتجاه واحد ، دون أن يعترضها عائق . وكلما كبر امتداد الأمواج كلما ازداد ارتفاعها ، فامتداد الأمواج الضخمة فى المحيط التى تدفعها رياح تصل فى سرعتها سرعة العواصف ، يصل إلى نحو من ١٠٠٠ كيلو متر ، فالأمواج الضخمة لايمكن أن تنشأ فى بحر ضيق أو خليج .

العلاقة بين الرياح وحركة الأمواج

وقد أجرى الكثير من الأبحاث والمشاهدات الدقيقة لتوضيح العلاقة بين الرياح وحركة الأمواج يمكن تلخيصها فى الآتى :-



شكل (٥٤) : قطاع موجة ، وحركات قطرة ماء تسببها موجة فى مياه عميقة . لاحظ تناقص حجم المدارات مع زيادة العمق أسفل سطح ماء البحر .

يتحرك الماء فيما يقرب من مدارات رأسية دائرية حينما تمر الأمواج . ويكون قطر المدارات مساويا لارتفاع الموجة . وتكون حركة ذرة الماء لحظتها فى إتجاه حركة الموجة ، وذلك أسفل قمة الموجة . اما فى قاع الموجة تكون ذرّة الماء عكسيّة .

وتناقص سرعة أو حركة المدارات بالعمق أو بالابتعاد عن السطح ، وتصبح المدارات أصغر . وعند عمق يساوى نصف طول الموجة تتلاشى الحركة الدائرية تقريبا . وتبعا لذلك فإن حركات المياه التى يتم توليدها بواسطة الموجة تحدث فقط قرب السطح .

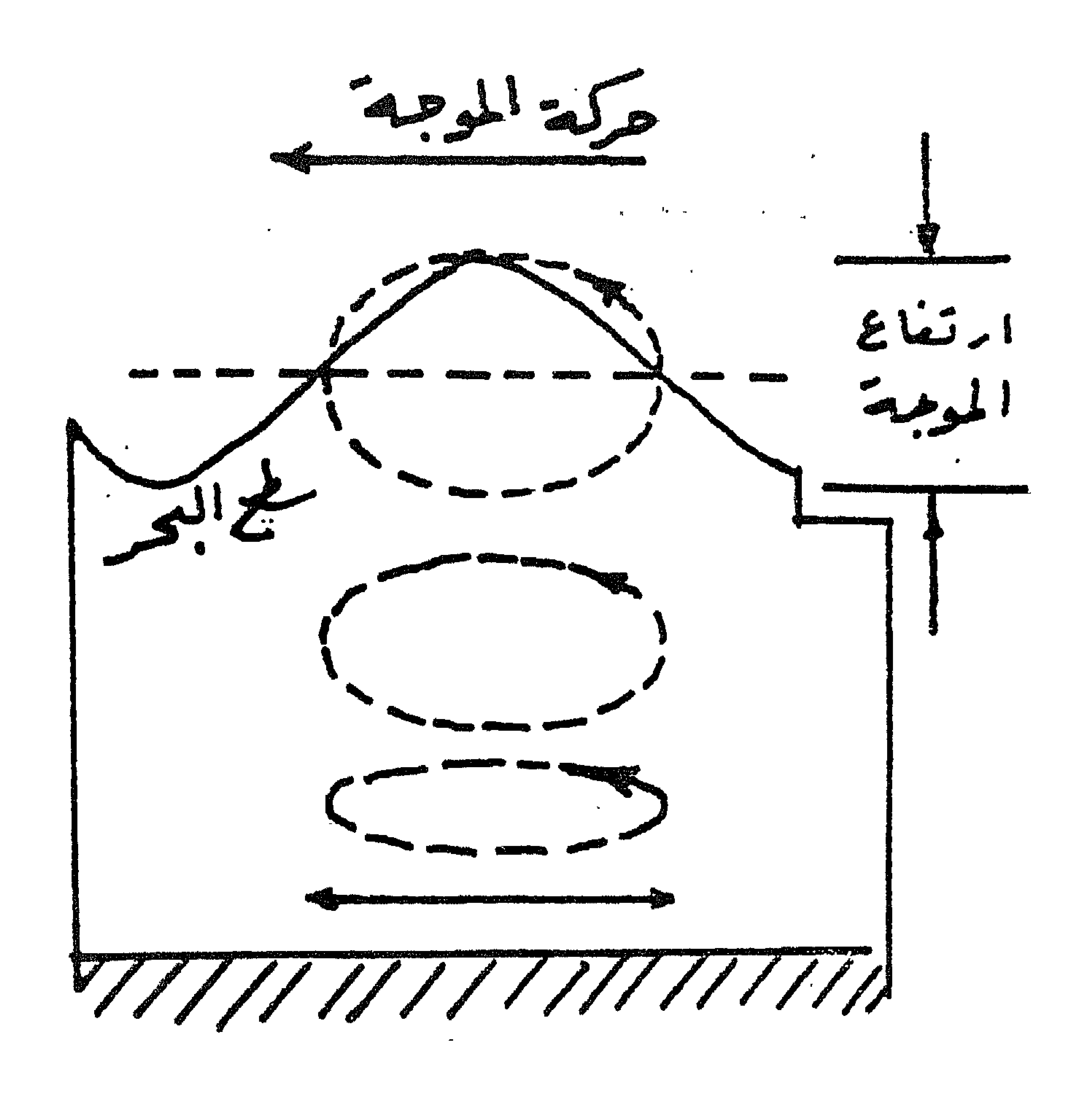
وتتحرك ذرة الماء إلى الأمام فوق كل قمة موجة ، وتعود إلى الوراء مع قاع الموجة . وهى تتحرك فى الحالة الأولى أسرع بقليل من تحركها فى الحالة الثانية . وتبعا لذلك فإن الذرة أو القطرة المائية تتحرك فى النهاية حركة ضئيلة فى اتجاه رحلة الموجة . لهذا يقال إن « شكل » الموجة هو الذى يتحرك .

حينما تهب ريح ذات قوة معلومة لفترة أو لمسافة غير محدودة على سطح المياه تنشأ أمواج لها ارتفاع ومدة معينة ، وإلى أن يصل كلٌ أقصاه ، يُمكن تقرير ما يأتى :

١ ـ بالنسبة لرياح ذات قوة معينة ، يزداد ارتفاع الموجة مع ازدياد المسافة التى هبت عليها الرياح .

٢ ـ كلما ازدادت فترة هبوب الرياح بقوة معلومة ، ازدادت سرعة حركة الأمواج ، وبالتالى تزداد فترات الأمواج وارتفاعاتها .

٣ ـ بالنسبة لرياح تهب على مسافة معلومة ، نجد أنه كلما اشتد هبوبها فإن ارتفاع الأمواج يزداد .



شكل (٥٥) : حركة ذرات الماء التى تسببها أمواج المياه الضحلة .

يتصادم القاع البحرى مع حركة الماء حيثما يكون عمق الماء أقل من نصف طول الموجة . ولا تستطيع ذرات الماء قرب القاع البحرى أن تتحرك رأسياً ، وإنما أفقياً فقط . وتتحرك الذرات ، وهى بعيدة عن القاع البحرى ، فى مدارات بيضاوية ، وتزداد فرطحة أو إنبساط المدارات البيضاوية كلما اقتربت من القاع البحرى ، بينما تزداد استدارتها باقترابها من سطح الماء.

ويقل تأثر الأمواج بقاع المحيط حيثما كان عمق الماء أكبر من نصف طول الموجة . وتبعا لذلك فإنه ، فى المحيط العميق ، تتقرر سرعة الموجة بواسطة طول الموجة ومدة الموجة . والأمواج الطويلة تتحرك بسرعة أكبر من الأمواج القصيرة . والأمواج الطويلة النابعة من عاصفة بعيدة تصل أولاً ، ثم تتبعها الأمواج الأقصر .

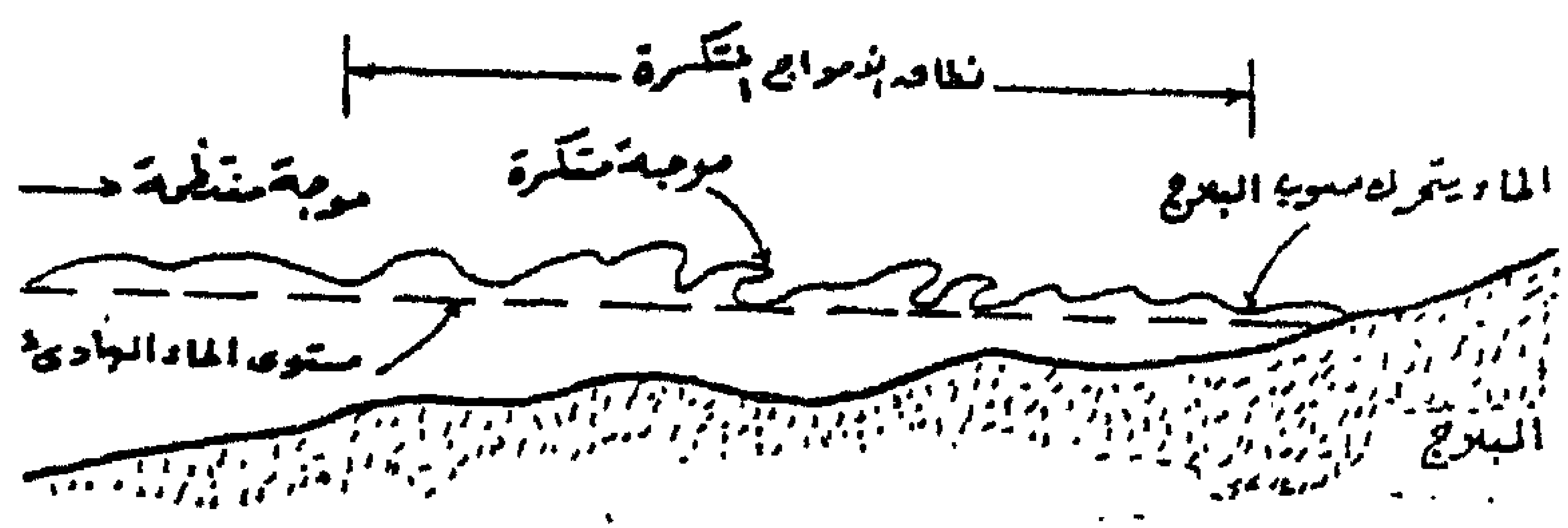
وحينما تتحرك الأمواج من المياه العميقة إلى المياه الضحلة ، فإن سرعة الموجة وطول الموجة يتغيران ، لكن مدة الموجة تبقى دون تغيير .

٤ ـ بالنسبة لرياح تهب على مسافة معلومة ، نجد أنه كلما اشتد هبوبها تعظم قوة الأمواج ، وبالتدريج تزداد مددها وارتفاعاتها ، وحين تهب الرياح بعيدا فى عرض المحيط متغايرة مضطربة ، ولكنها تتجه بوجه عام نحو الساحل ، فإن سطح الماء لا يبقى منبسطا هادئا ، بل يستجيب للضغوط المتقاربة فيتموج ما بين ارتفاع وانخفاض متعاقبين ، وتتجه الأمواج مع الإتجاه العام لهبوب الرياح العاصفة التى تسيطر على حركتها نحو الساحل ، مستغلة طاقة الريح ، فيزداد ارتفاعها ، غير أن الأمواج تتهالك وتضعف ويغطيها زبد أبيض ، ويصل ارتفاعها سُبع المسافة إلى القمة التالية ، وقد تصل الأمواج أقصى ارتفاعها عندما تبدأ العاصفة فى السكون .

ويتخذ البحر مظهرا مضطربا تختلط فيه الأمواج وتتضارب ، إلى أن تخرج من حيز العاصفة ، فيقل ارتفاعها ، وتزداد المسافة بين قمم الأمواج المتتالية ، وتتحرك الأمواج بسرعة قد يصل مداها إلى ٢٥٠ كيلو متر / ساعة . أما فى المياه الضحلة فينتابها تغير مفاجئ ، إذ تُبطئ فى سرعتها ، نظرا لتأثير عملية سحب القاع الضحل لها ، فتتزاحم قمم الأمواج المتتالية ويزداد ارتفاعها ، وسرعان ما تضعف وتتساقط مياهها .

وتتميز الأمواج الصغيرة التى كونتها الرياح قريبا من الساحل بأنها رأسية ذات قمم واضحة ، يغطيها الزبد الأبيض أثناء قدومها إلى الساحل . أما الأمواج القادمة من مسافة بعيدة فى عرض البحر ، فإنها تتكون على طول جبهتها الزاحفة ، وتسير حثيثا إلى الأمام ، ثم تغوص كتل الماء فجاة بهدير شديد .

والأمواج تتحرك دائما حركة حرة لايعترضها عوائق ، ولكن أحيانا **تعترض طريقها تيارات المدّ ، أو تتحرك فى اتجاه مضاد لها ، فيضطرب لالتقائهما البحر ويثور ، وتصبح الملاحة صعبة ، وقد تغرق السفن ، أو تظل بضعة أيام تتقاذفها الأمواج .** غير أنه حينما يحدث هذا الإلتقاء بعيدا عن السواحل ، فإنه يعمل على حمايتها من فعل



شكل (٥٦) : الأمواج الطويلة المنتظمة أثناء دخولها مياها ضحلة .

عند عمق يساوى ١,٣ مثلاً قدر ارتفاع الموجة ، تتكسر الموجة ، ثم تستعيد شكلها الأصلى وما تلبث أن تعود إلى التكسر ، وأخيراً يتحرك الماء ذاته صوب البلاج Beach .

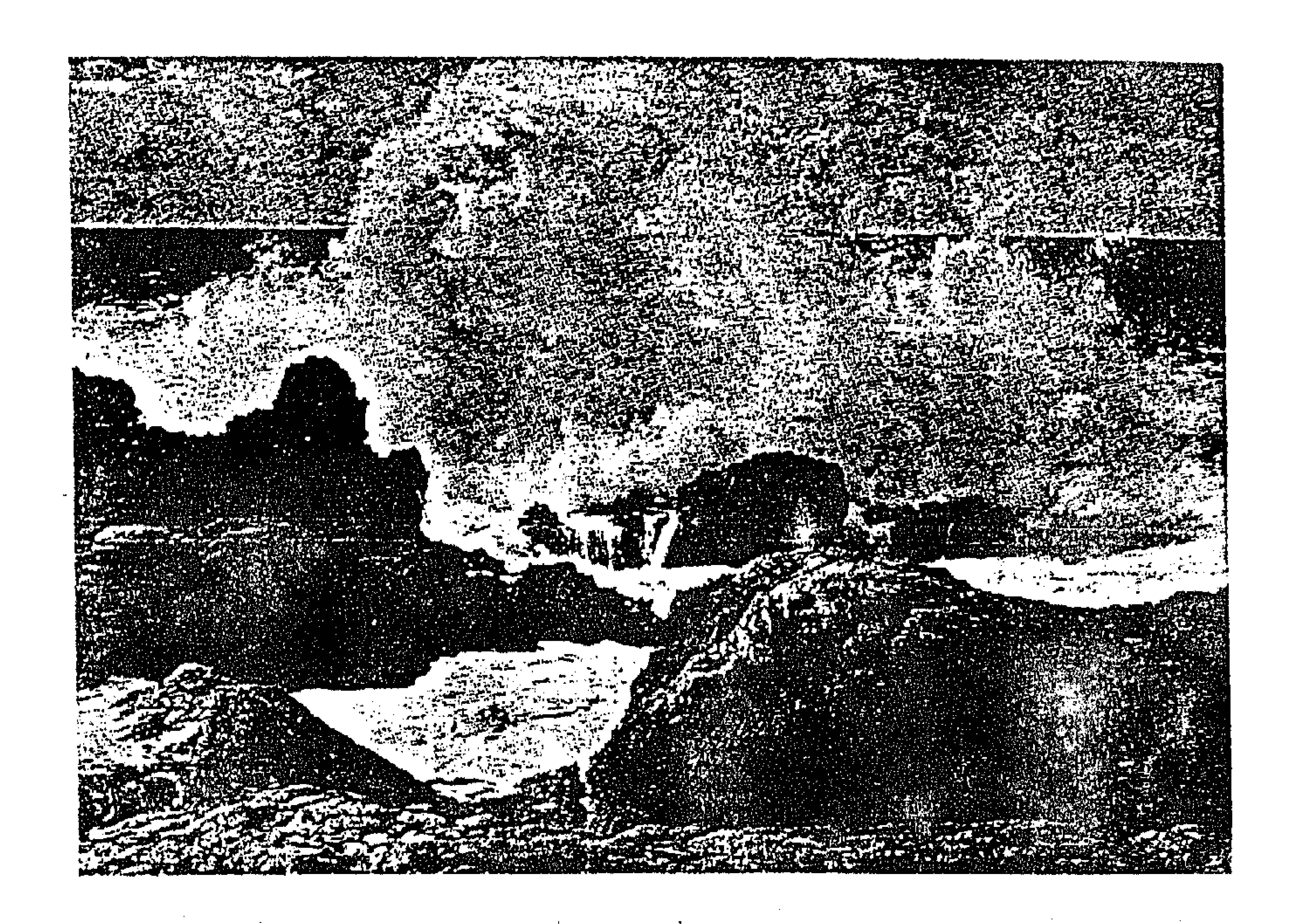
حينما تقترب الأمواج من البلاج ، حيث تكون المياه ضحلة (عمقها أقل من نصف ارتفاع الموجة) تتأثر الحركات المدارية لذرات المياه بالقاع البحرى . ورغم ارتفاع الموجة ، تصبح قممها أكثر حدة . كلما يزداد انحدار الموجة Wave Steepness (نسبة الارتفاع إلى الطول) حتى تصل نسبته إلى القيمة الحرجة ، وهى حوالى ١ إلى ٧ . وعند هذا الحد تزداد حدة قمة الموجة وتصبح جبهة « منقارية » الشكل ، وتفقد توازنها وتضطرب ، ثم تتكسر .

وتتكسر الأمواج عادة حينما يكون عمق المياه مساويا ١,٣ مثلا لمقدار ارتفاع الموجة .

وكثيرا ما تتسبب طاقة الموجة المتكسرة فى تشكيل مجموعة من الأمواج الصغيرة . وهذه بدورها تنكسر حينما تصل مياها ضحلة . وتبعاً لذلك فإن نطاق الأمواج المتكسرة Breaker of Serf Zone قد يحوى مجموعات متعددة من الأمواج المتكسرة ، يتوقف عددها على خصائص الأمواج وشكل القاع البحرى المتاخم للشاطئ .

وحينما تتكسر الأمواج فإنها تستهلك طاقاتها فى إحداث الاضطراب وفى غزو الشاطئ . وفى هذه المراحل النهائية من عمر الموجة ، فإن طاقاتها Wave's Energy تتحول إلى طاقة حرارية Heat Energy . وإذا لم تختلط هذه الطاقة الحرارية إختلاطاً محكماً بكميات كبيرة من مياه البحر ، فإن درجة حرارة المياه فى نطاق الأمواج المتكسرة قد ترتفع ارتفاعا ملحوظا .

الأمواج ، إذ أن التقاء تيارات المد بالأمواج العاتية بعيدا عن الساحل يعمل على تمزيقها ، فيقل ورود الأمواج التى ترتطم بالساحل ، ولكن حينما تستهلك طاقة المدّ فلا يستطيعُ الإنتشار فى البحر ، فإن الموج الشديد يزحف صوب الساحل ويصطدم به . ففى غرب المحيط الأطلسى تقاوم تيارات المد عند مدخل خليج فندى Fundy الأمواج المتحركة صوب الخليج فتمزقها ، لهذا نجد أمواج الخليج غالبا ذات نشأة محلية . وعندما يعترض حركة الأمواج رياح مضادة ، فإنها تعمل على استنفاد قوتها وفنائها ، أو قد تزيد من سعتها فيزداد إرتفاع الأمواج بمعدل يصل إلى قدم أو قدمين فى الدقيقة .



شكل (٥٧) : الأمواج المتكسرة Surf . تجرى الأمواج فى عرض البحر حرة طلقة ، لكنها تأتى فى النهاية إلى اليابس لتضرب شواطئه دون هوادة .

مضعفات الأمواج :

وتعمل المياه الضحلة والأرصفة الصخرية والجزر الساحلية عند فتحات الخلجان على اضمحلال الأمواج . فالأمواج الطويلة التى تندفع من عرض المحيط نحو السواحل الشمالية لولايات إنجلترا الجديدة - New England States بالولايات المتحدة ، قلما تصل إليها بكامل عنفوانها ، إذ يُستهلك قسم كبير من طاقتها أثناء مرورها بالشطوط الصخرية والتلال البحرية والجزر المتاخمة للسواحل ، وتعمل الشعاب المرجانية أيضاً على إستنفاذ طاقة الأمواج ، حيث تتكسر عليها ، فتصل إلى السواحل ضعيفة، وقد لا تصلها إطلاقا .

ويعمل الجليد والثلج المتساقط والأمطار على تهدئة قوة الأمواج ، وقد تقضى عليها . فالأمواج تتكسر على حواف الجليد ، كما تعمل

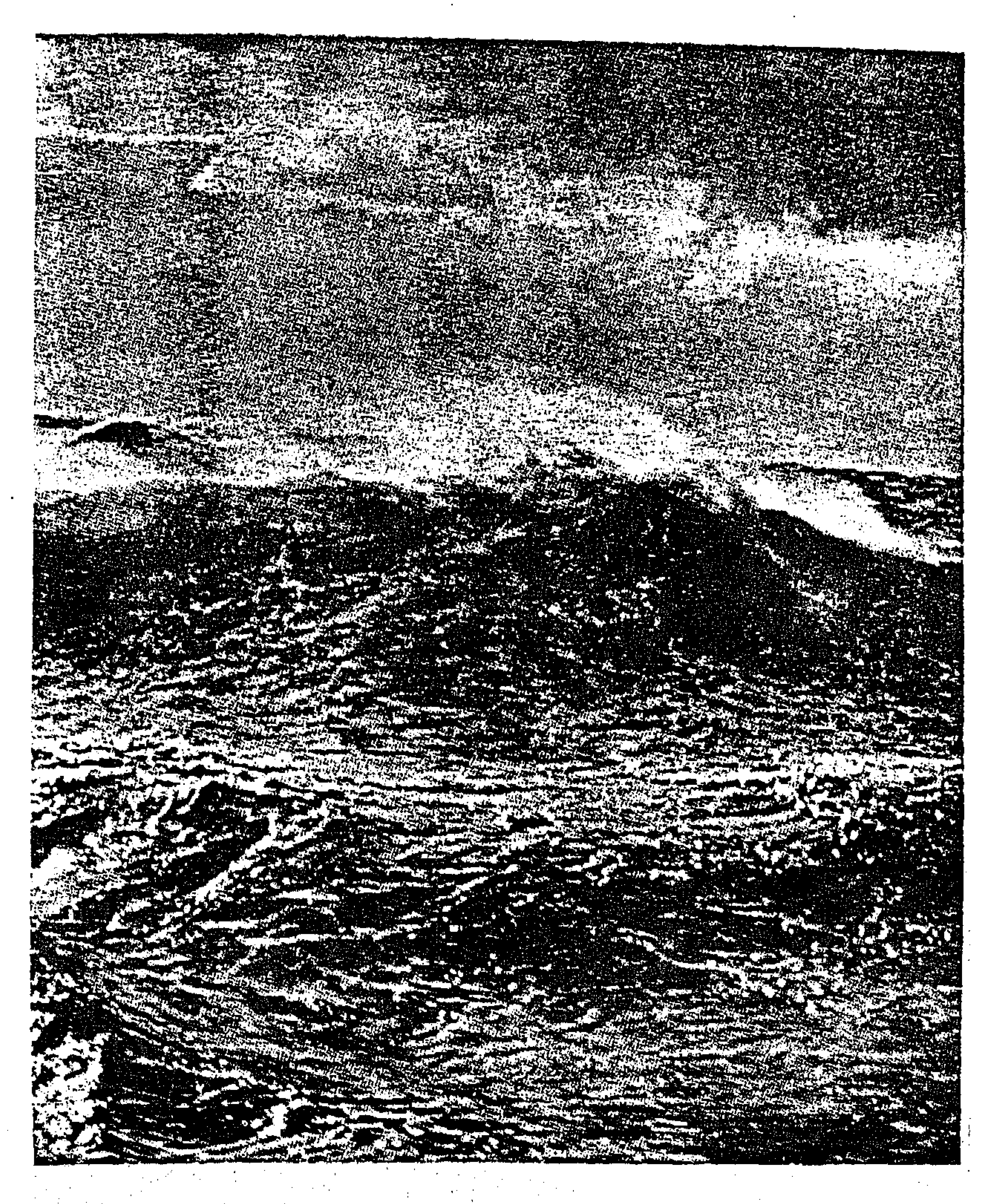
بلوراته على تخفيف حدتها ، وهطول المطر المفاجئ يستنفذ طاقة الموج العالى . وللزيوت أيضاً تأثير مهدئ للأمواج المتحركة فى عرض البحر ، وتستعين بها السفن بإلقائها فى الموج الثائر فى حالات الطوارئ .

قدرة الأمواج على التدمير وإحداث الكوارث :

وتتحرك الأمواج فى المسطحات المائية الجنوبية حركة حرة ، فهى لا تتكسر على السواحل ، وإنما تدور حول الأرض ، وهى تفوق أمواج المسطحات المائية الأخرى فى طولها واتساع قممها ، ولكنها ليست أكثر الأمواج ارتفاعا . ويبلغ أقصى ارتفاع تبلغه الأمواج نحو ٧,٥ متر (٢٥ قدما) ، ولكن ارتفاع أمواج العواصف قد يصل إلى ضعف ذلك الرقم . وأقصى رقم سُجّل **لارتفاع الأمواج بلغ ٣٣,٦ مترا** (١١٢ قدما) ، ولكن ذلك نادر الحدوث .

ولا يقتصر تأثير الأمواج فى عرض البحر على تحطيم السفن وإزهاق الأرواح ، ولكنه يتعدى ذلك إلى السواحل حيث يكون التدمير أعنف والخسائر أفدح . فحين تصطدم الأمواج العاتية بالسواحل فإنها تُحطم المبانى ، وتُحيل الفنارات ، والأرصفة ، وكاسرات الأمواج ، وغيرها من المنشآت الساحلية أنقاضا . ومثل تلك السواحل التى تتعرض لتدمير الأمواج سواحل أرخبيل تيرادلفويجو Tira del Fouego **فى أمريكا الجنوبية ، والسواحل الغربية للولايات المتحدة ما بين شمال كاليفورنيا ومضايق جوان دى فوكا ، وأيضا شواطئ جزر شتلاند** Shetland **وأوركنى** Orkeny ، **التى تتعرض لأمواج بالغة العنف فى طريق الزوابع الإعصارية التى تمر بين جزيرة أيسلندا** Iceland **والجزر البريطانية متجهة صوب الشرق .**

فحين تعصف الزوابع الإعصارية مُحدثة أمواجا ضخمة ترتطم بصخور السواحل بعنف ، فترفع معها أطنانا عديدة من الصخر ، **وكثيرا ما يُسمع صخب الأمواج التى ترتفع إلى نحو ١٨ مترا .(٦٠ قدما)**



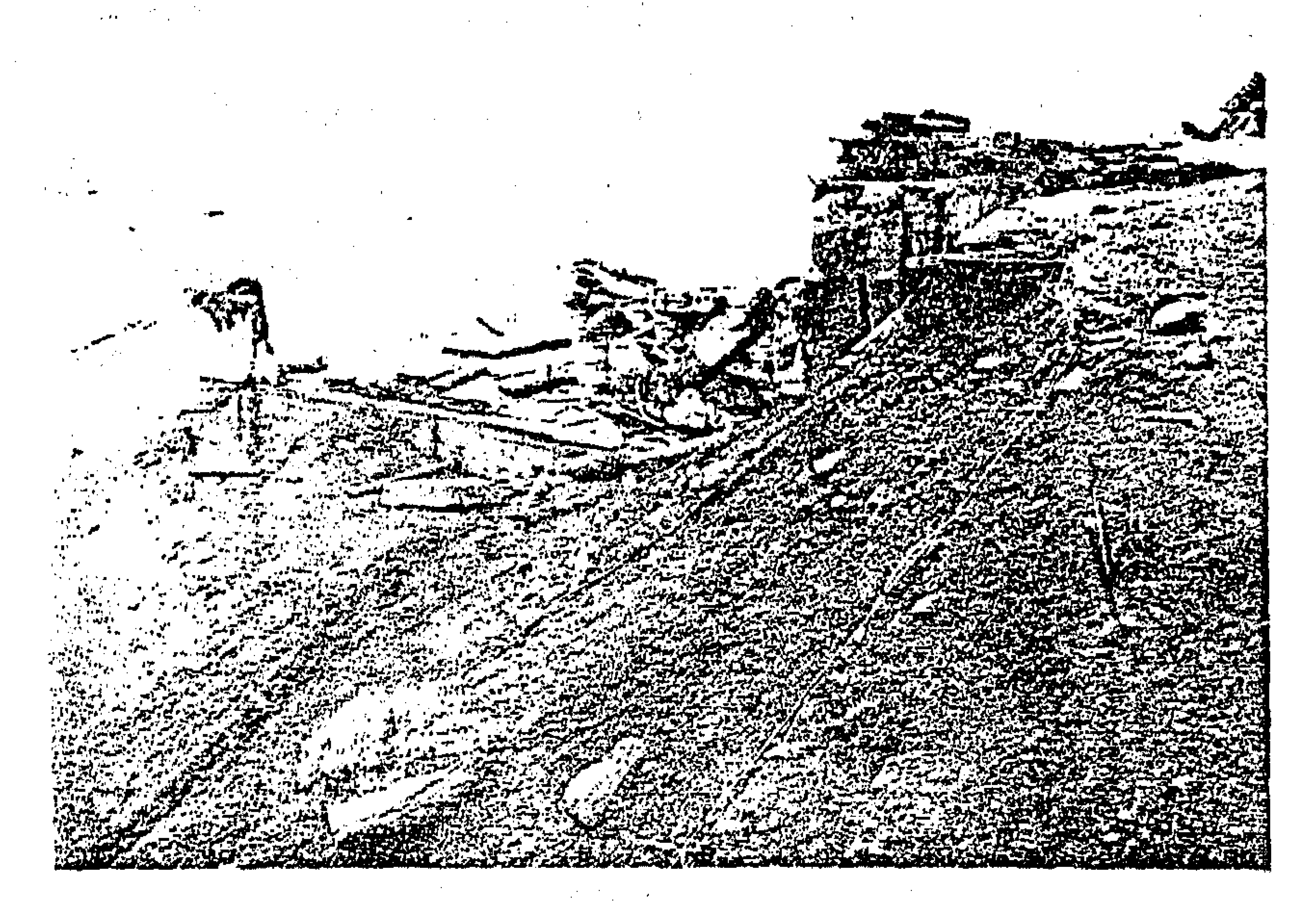
شكل (٥٨) : وجه البحر الغاضب اثناء عاصفة هوجاء .

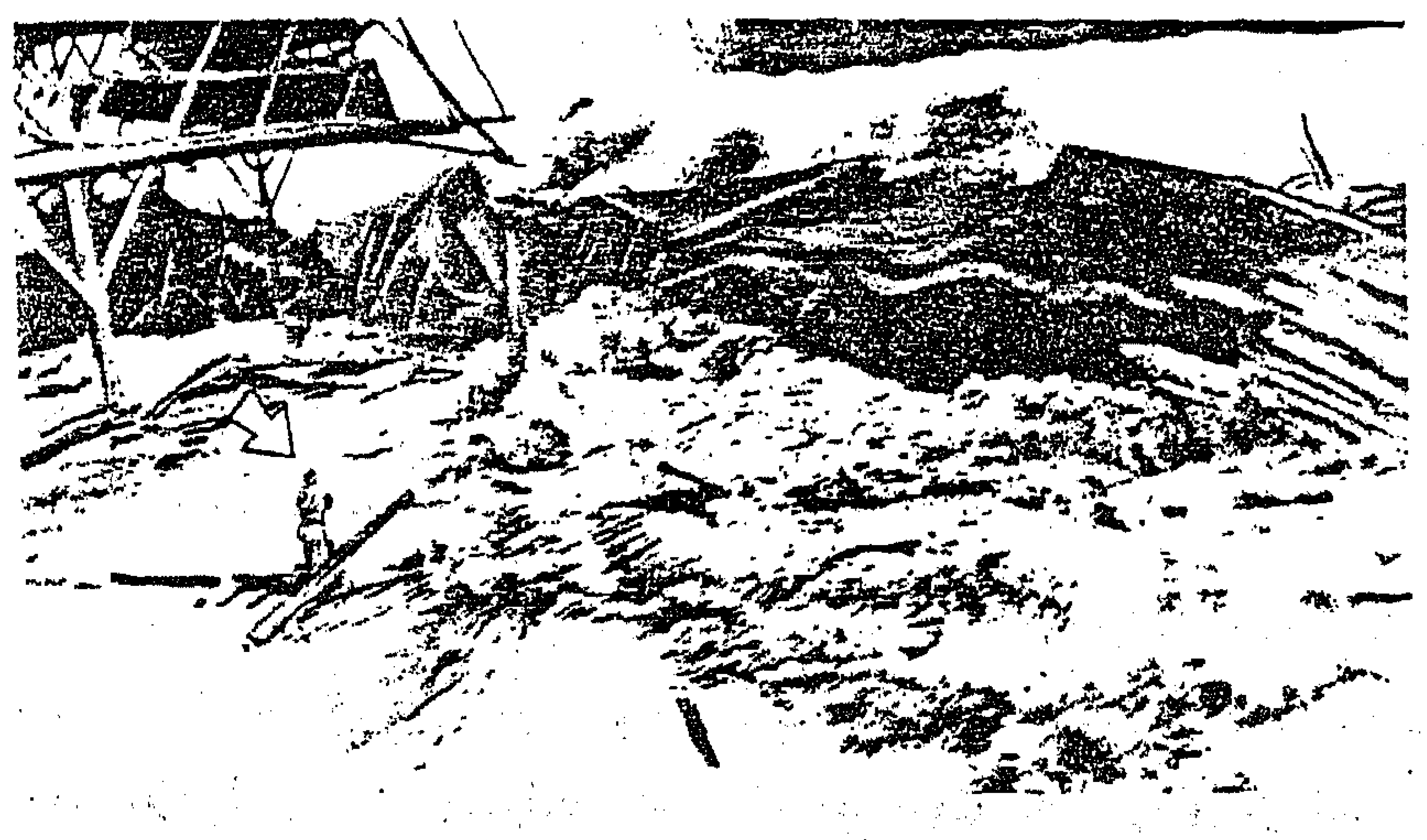
على بعد ثلاثين كيلو مترا من السواحل . وقد تصل قوة الموجة فى عواصف الشتاء إلى ٦٠٠٠ رطل على القدم المربع الواحد .

ولكى نتصور مقدار الأمواج الضخمة نذكر أنها استطاعت أن تحطم حاجز الأمواج عند ويك Wick على ساحل اسكتلندا، وأن ترفع كتلة من الصخر والخراسانة تبلغ زنتها ١٣٥٠ طنا، وذلك فى عاصفة ثارت فى



شكل (٥٩) : منارة مـايـنـوت Minot's Light فى مـاسـاتشـوسـيـتس Massachusetts (شـمـال شـرق الولايات المتحدة الأمريكية) تقف صامدة تتلقى ضربات الأمواج المتكسرة العنيفة.





شكل (٦٠) وشكل (٦١) : الأمواج الزلزالية (التسونامية) التى حدثت فى أول أبريل عام ١٩٤٦ اقتلعت منارة كانت تقع فى كاب سكوتش Sxotch Cap بالاسكا ، على ارتفاع ثلاثين متراً تقريبا ، وقذفت بأشلائها بعيدا فى اليابس (**الصورة العليا**) .

وتبدو فى **الصورة السفلى** بقايا منشآت ساحلية فى جزر هاواى حطمتها الأمواج التسونامية فى نفس التاريخ .

شهر ديسمبر سنة ١٨٧٧ . وبعد مرور خمسة أعوام هبت عاصفة أخرى استطاعت أمواجها أن تكتسح الحاجز الجديد الذى بلغت زنته ٢٦٠٠ طنا .

والأمواج عامل هام من عوامل النحت والإرساب ، فهى تُحطم السواحل ، وتنحت فى تكويناتها ، وتعمل على تآكلها ، وتُكون الكهوف والمغارات البحرية ، وتنتزع كميات كبيرة من رمال الشواطئ ، كما أنها قد تُرسب مكونة حاجزا أو جزيرة صغيرة .

الأمواج الزلزالية وكوارثها

ويطلق أسم **الأمواج المدّية** Tidal Waves على نوعين مُتباينين من الأمواج ، ليس لأحدهما صلة بحركات المد . **والنوع الأول** ينشأ عن الزلازل التى تحدث فى قاع المحيط ، **والثانى** تسببه الرياح الشديدة أو العواصف العاتية .

وتنشأ معظم **الأمواج الزلزالية** البحرية Seismitic Sea Waves التى يُطلق عليها تسونامى Tsunamis فى الأخاديد والأحواض البحرية العميقة . ففى أخاديد أتكاما Atacama والوشيان Aleutian واليابان ، **نشأت أمواج أطاحت بحياة الكثيرين من البشر** . فمثل هذه الأخاديد تحتل من قاع المحيط مكانا ضعيفا غير ثابت يصيبه الإختلال وعدم الإتزان ، مما يولّد **الكثير من الزلازل التى تسبب الأمواج الثائرة الكبيرة ، التى تخرب المنشآت الساحلية .**

وقد تعرضت سواحل كثيرة لدمار تلك الأمواج التسونامية خلال فترات التاريخ ، **منها بعض سواحل البحر المتوسط الشرقى ، وسواحل شبه جزيرة أيبريا ، وسواحل غرب أمريكا الجنوبية ، وسواحل اليابان وجزر هواى** . وقد تعرضت الأخيرة فى أبريل سنة ١٨٤٦ لتلك الأمواج التسونامية المدمرة ، فأحدثت فى سواحلها التخريب والتدمير .

وقد حدث الزلزال فى أخدود الوشيان الذى يبعد عن جزر هاواى بحوالى ٣٧٠٠ كيلو متر (٢٣٠٠ ميل) ، فنشأت عنه أمواج هائلة ، بلغ

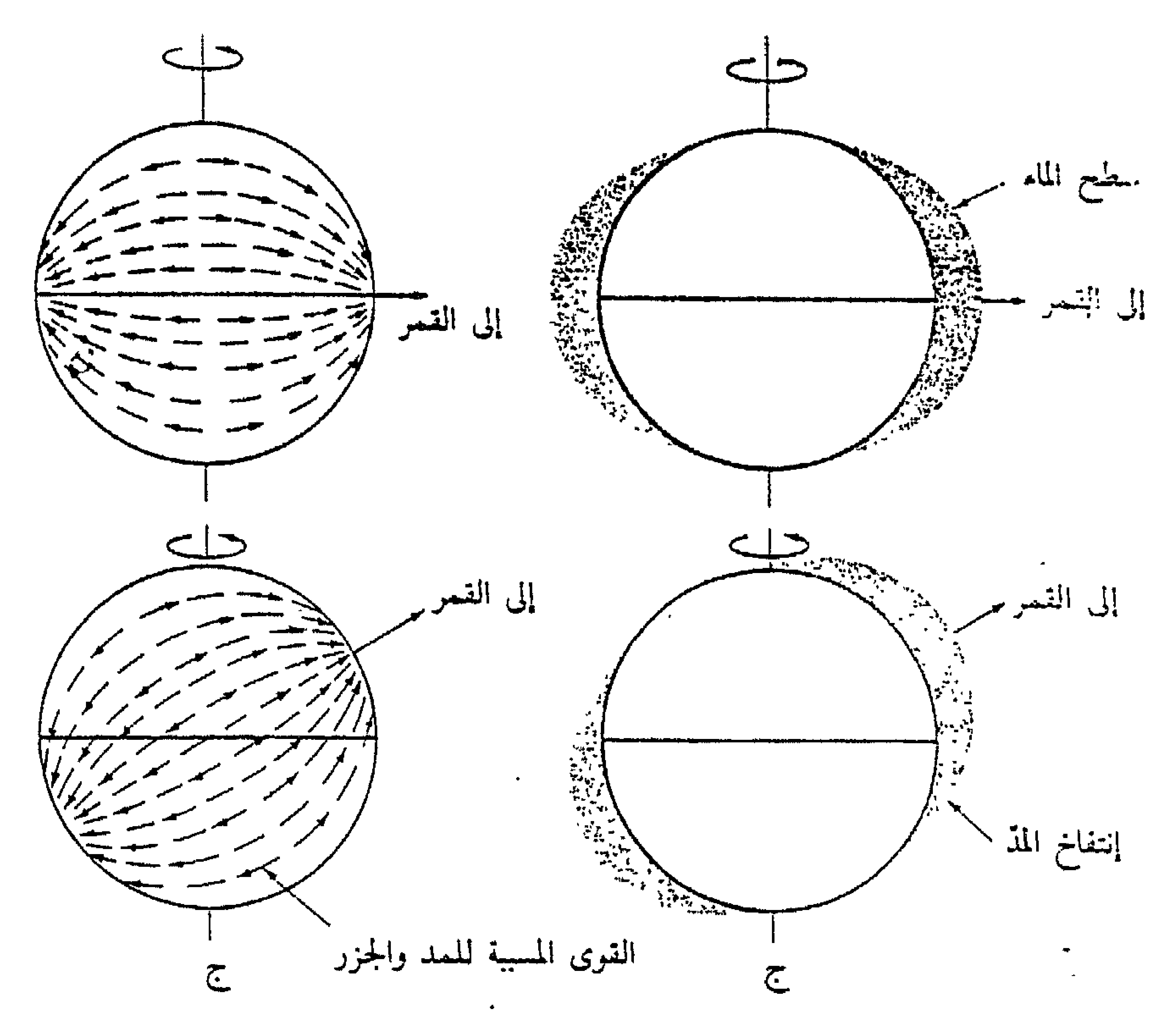
طول الموجة بين كل قمتين متتاليتين حوالى ١٤٥ كيلو مترا (٩٠ ميلا) ، **ووصلت الأمواج إلى جزر هاواى فى سرعة مذهلة بلغت نحوا من ٧٥٠ كيلو مترا (٤٧٠ ميلا) فى الساعة** . وقد تعاون المختصون فى الزلازل والأمواج والمدّ فى وضع نظام لحماية جزر هاواى . وذلك بإنشاء شبكة من محطات التنبوء موزعة فى المحيط الهادى ، لتحذير سكان الجزر من أخطار تلك الأمواج المدمّرة .

ثانيا : حركة المد والجزر وكوارثها

يتحرك سطح البحر بين ارتفاع وانخفاض مرة كل نصف يوم تقريباً، وهذه الحركة تبدو واضحة على الخصوص بجوار السواحل . ويعرف أقصى إرتفاع يبلغه سطح البحر بالمد ، وأدنى إنخفاض باسم الجزر . ويقدر مدى الحركة بالمسافة الرأسية بين مستوى المياه فى أقصى المد ومستواها فى أدنى الجزر .

وتنشأ ظاهرة المد والجزر عن قوى جذب القمر والشمس للمياه . فالمياه بطبيعتها تستجيب لقوى جذب الأجرام السماوية البعيد منها والقريب . ولكن جذب النجوم ـ نظرا لبعدها الشاسع عن المسطحات المائية على الأرض ـ ضئيل جدا ، لا يكاد يتأثر به سطح البحر . وتأثير القمر فى إحداث المد أقوى من تأثير الشمس ، لأن الشمس بعيدة هى الأخرى عن الأرض ، أما القمر فقريب منها نسبيا ، ولهذا نجد أن تأثير الشمس يقتصر على تقوية تأثير القمر أو إضعافه .

وقد لاحظ القدماء العلاقة بين حركات المد والجزر ، وبين مختلف أوجه القمر . وقد أشار إلى تلك العلاقة بثياس Pytheas لأول مرة فى القرن الرابع ق . م ، فى أثناء رحلته من سواحل البحر المتوسط إلى القنال الإنجليزى والقسم الجنوبى من بحر الشمال . فقد راعه كمواطن من مواطنى سواحل البحر المتوسط ، حيث تكاد تنعدم حركة المد والجزر ، ضخامة تلك الحركة على سواحل فرنسا المطلة على القنال الإنجليزى .



شكل (٦٢) : القوة المنتجة لظاهرة المد والجزر ، وما ينشأ عنها من انتفاخات (بروزات) مدية فوق محيط يغطى الأرض . القمر فى الشكل العلوى يقع فى مستوى دائرة استواء الكرة الأرضية ، بينما يقع فوق مستوى دائرة الإستواء فى الشكل السفلى .

على جانب الأرض المواجه للقمر (وبالتالى القريب منه) . ينجذب ماء المحيط نحو القمر ، نظرا لأن المسافة بين الأثنين أقل بقليل منها عند مركز الأرض . أما على الجانب الآخر البعيد عن القمر ، فإن جذب القمر يكون أقل بقليل ، لأن المسافة تكون أكبر بمقدار قطر واحد للأرض . هذه الاختلافات اليسيرة تتسبب فى تغيير طفيف فى شكل سطح المحيط ، فيتشكل فى هيئة « انتفاخين مديين » Tidal تفصل بينهما مساحات منخفضة أو أحواض . واحد من الانتفاخين يوجد فى الجانب الأقرب إلى القمر ، والآخر فوق الجانب المقابل . ويتحكم فى هذه الانتفاخات المدية بتوازن جذب القوى المولدة لظاهرة المد والجاذبية الأرضية التى تجذب المياه وتردها إلى الأرض .

ويمر القمر بأى موقع على سطح الأرض مرة كل ٢٤ ساعة و ٥٠ دقيقة وإذا ما إفترضنا كرة أرضية مغطاة تماماً بالمياه ، فإن أى نقطة عليها تمر أسفل قمتين مديتين ، وحوضين جزريّين ، وذلك أثناء كل يوم قمرى (مدى جزرى . Tidal Day) مدّته ٢٤ ساعة و ٥٠ دقيقة والمدة التى تنقضى بين مد وجزر متتاليين تسمى مدة المد والجزر Tidal Period Drake .

وحينما يكون القمر فى مستوى دائرة استواء الأرض ، يكون المدان فى كل موقع متساويين . لكن ، مع هذا ، فإن موقع القمر (وما يصحبه من انتفاخات مدية) ينتقل من دائرة عرض ٢٨,٥ شمال دائرة الاستواء الأرضى إلى دائرة عرض ٢٨,٥ جنوب الاستواء الأرضى ، وتبعا لذلك تتغير الارتفاعات النسبية لمياه المد والجزر عند أى موقع على سطح الأرض المائى .

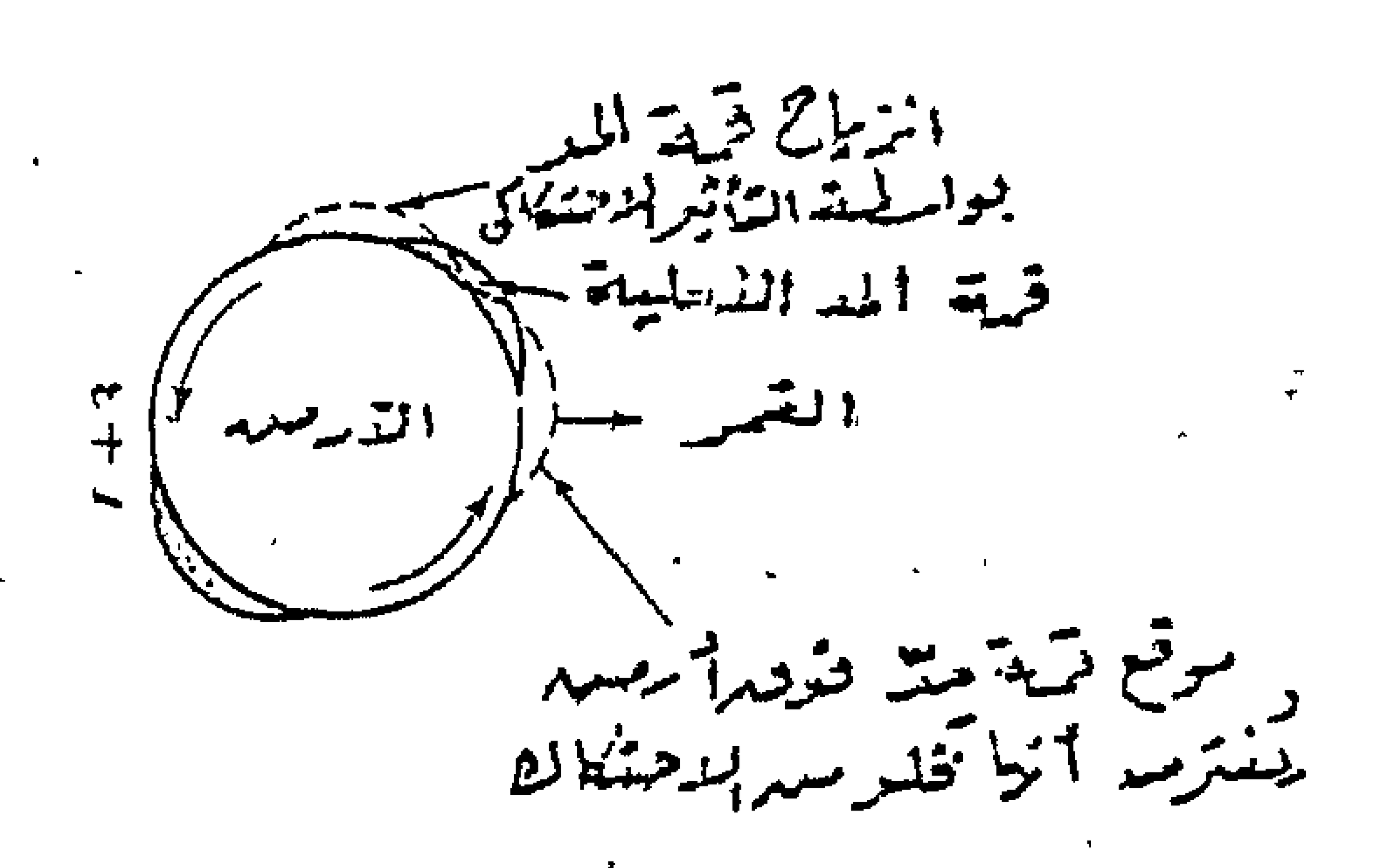
وعدا تلك الملاحظات القديمة لم تظهر نظريات طبيعية سليمة تفسر العلاقة بين الشمس والقمر وحركة المد والجزر ، إلى أن وضع نيوتن Newton أساس قوى الجذب ، فظهرت نظريات عدة تفسر تلك الظاهرة لعلماء كثيرين منهم لابلاس Laplace ، وإيرى Airy ، وهاريس Harris وغيرهم .

وتستجيب مياه البحار والمحيطات جميعا للقوى التى تُحدث المد والجزر ، سواء منها العميق أو الضحل . فكل قطرة من ماء المحيط من قاعه إلى سطحه تتأثر بتلك القوى ، وهى بهذا تختلف كل الإختلاف عن قوى الأمواج . فالأمواج التى تحدثها الرياح رغم شدتها لايتعدى تأثيرها المستويات المائية إلى عمق قد لايزيد كثيرا عن مائة قامة بحرية . ففى مضيق مسينا Messina ، حيث تتقابل تيارات مدية ، تنشأ عنها دوامات مائية تُحرك مياه المضيق جميعا من قاعه إلى سطحه ، وتقذف إلى البر بالأسماك والكائنات التى تعيش فى الأعماق .

والكتل المائية التى تحركها تيارات المد غاية فى الضخامة ، وليس أدل على ذلك من أن تيار المد يجلب إلى خليج فندى Fundy كتلا من المياه تقدر بحوالى ١٠٠ مليون طن مرتين فى اليوم الواحد .

ويحدث أعلى مدّ ، وهو المعروف **بالمدّ العالى (المنتفخ) Spring tide** ، (كلمة Spring هنا مأخوذة من الكلمة السكسونية سبرينجان Springan ومعناها ينتفخ To swell) ، مرتين كلّ شهر : مرة حينما يكون القمر فى **المحاق** ، أى حينما يكون القمر مجرد خيط فضى فى السماء ، وحينئذ يكون جذب القمر والشمس للماء فى اتجاه واحد .

والمرة الثانية حينما يكون القمر بدرا ، وحينئذ يكون جذب القمر والشمس للماء فى إتجاهين متقابلين . وفى كلتا الحالتين تكون الشمس والقمر والأرض على إستقامة واحدة ، وبذلك يتعاون جذب كلا الجرمين السماويين فى رفع المياه عاليا على السواحل ، ودفعها لترتطم بالصخور وتملأ المرافئ .

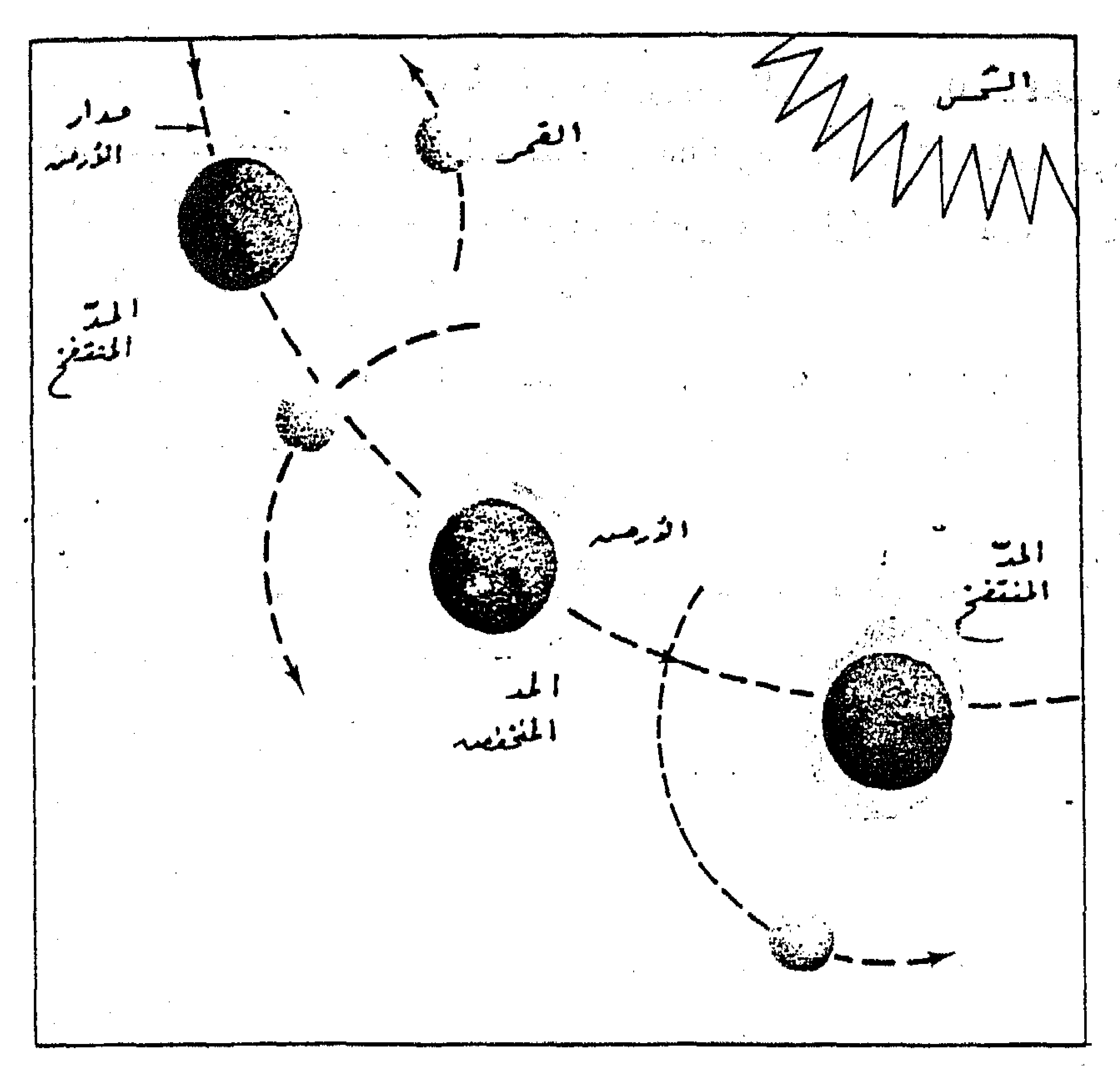


شكل (٦٣) : موقع قمة (الانتفاخ) المد يتحدد بواسطة التوازن بين قوة جاذبية القمر ، والمقاومة الأحتكاكية فوق كرة أرضية دوّارة .

أمواجَ المد أمواج طويلة جدا . تحدث قمتا (انتفاخا) المد على جهتين متقابلتين من الكرة الأرضية ، وتبعا لذلك فإن لحركة المد أطوال موجية تصل إلى ما يقرب من ٢٢٠٠٠ كيلو متر . ونظرا لأن المحيط اقل عمقاً بقليل من ٤ كيلو متر ، فإن موجة المد تتخذ طبيعة وسلوك موجة الماء الضحل . ذلك انه ، لكى تتحرك موجة مدية بسرعة تكفى لملاحقة القمر . يلزم أن يكون عمق المحيط ٢٢ كيلومترا على الأقل . وتبعا لذلك ، فإن قمم المد تنتقل أو تنزاح من موضعها التوازنى Equilibrium Position بواسطة المقاومة الاحتكاكية Frictional drag على قاع المحيط ، وأيضا بواسطة دوران الكرة الأرضية (الذى يتم فى الاتجاه المعاكس) .

ويضعف المد مرتين فى الشهر ، الأولى فى **الأسبوع الأول** ، والثانية فى **الأسبوع الثالث** من الشهر العربى ، وذلك حينما يكون القمر والشمس فى اتجاهين متعامدين . ويسمى المدّ فى كلتا الحالتين **بالمدّ المنخفض Neap Tide** (كلمة Neap من أصل كلمة سكسونية تعنى الندرة أو القلّة) . وهناك عدة عوامل تتدخل لتجعل حركة المد أكثر تعقيدا مما يظهر ، فتأثير الشمس والقمر فى تغير مستمر تبعا لتباين أوجه القمر ، ولإختلاف بعد القمر والشمس عن الأرض ، وكذلك لإختلاف موقع كل منهما إلى الشمال أو إلى الجنوب من الدائرة الإستوائية .

وتزداد حركة المد تعقيدا أيضا نظرا لأن كل كتلة مائية مدة ذبذبة تختص بها . ويعتقد بعض العلماء أن المحيطات تحتوى على عديد من الأحواض ، لكل حوض منها ذبذبة خاصة به يُحددها مدى اتساعه وعمقه . وعلى الرغم من أن القوة التى تدفع بها المياه إلى الحركة هى قوة جذب



شكل (٦٤) : العلاقة بين الأرض ، والقمر ، والشمس اثناء المد العالى Spring Tide ، والمد المنخفض Neap Tide . لاحظ أن القمر والشمس والأرض جميعاً على استقامة واحدة أثناء المد العالى ، لكنها تقع صانعة زاوية قائمة ، أى متعامدة على بعضها أثناء المد الواطى أو المنخفض .

القمر والشمس ، إلا أن نوع الحركة أو فترة ذبذبة الماء تعتمد على الأبعاد الطبيعية للحوض . فطبيعة الأرض والسواحل فى منطقة ما ، لها أهمية كبيرة فى تحديد الظواهر التى تحدث المد ، فالقمر والشمس يحركان المياه بقوة الجذب ، ولكن كيفية تحريكها ومدى حركتها ومقدار ارتفاعها ، كل ذلك يتوقف على عوامل أهمها ، عمق المياه ، واتساع الخليج أو ضيقه ، ومدى إتساع فتحة الخليج .

ففى سواحل جزيرة نانتوكيت Nantuket ، الواقعة فى خليج Maine، تضعف حركات المد ، حتى أن التيارات المدية لاتكاد تؤثر فى نشاط

رياضة التجديف أو السباحة ، لأن الفرق بين المد العالى والمنخفض لا يتعدى بضعة أقدام . أما فى خليج فندى Fundy وهو يُعتبر قسما من مياه الخليج المذكور ، فإن المياه فيه ترتفع وتنخفض فى تيارات مد وجزر يصل مداها إلى ١٢ ـ ١٥ مترا (٤٠ , ٥٠ قدما) .

ويتباين مدى ارتفاع المد تباينا كبيرا فى مختلف جهات العالم ، فقد يعلو ويرتفع فى جهة ما إلى حد كبير ، بينما يضمحل ولايكاد يُحس به أحد فى بقعة أخرى قد لاتبتعد عن الأولى كثيرا . وأقصى ارتفاع يبلغه المد فى العالم يحدث فى خليج فندى Fundy ، إذ يرتفع المد العالى عند رأس هذا الخليج فى مياه حوض ميناس Minas بمقدار ١٥ مترا .

وهناك نحو ست جهات من العالم يزيد فيها ارتفاع المد عن ١٢ متراً، منها بورتوجاليجوس Puerto Gallegos فى الأرجنتين ، وخليج كوك Cook فى الاسكا ، وخليج فروبيشر Frobisher من مياه مضيق ديفز Davis ، ومصب نهر كوك سوك Kook Soak فى خليج هدسن ، وخليج سان مالو St. Malo فى فرنسا . وفى جهات أخرى لايبلغ المد أقصاه عندما ترتفع المياه وتنخفض فى هدوء ، ولايزيد الفرق بين المد والجزر عن قدم واحد . وفى معظم الجزر المحيطية يقل المدى ، فلا يتعدى قدما واحدا .

وتختلف إستجابة المياه لمدى المد على أبعاد متقاربة . فعند النهاية الشرقية لقناة بنما ، لايتعدى مدى حركة المد والجزر قدما أو قدمين ، بينما يرتفع ذلك المدى فيصل إلى نحو خمسة أمتار (١٦ قدما) عند نهايتها الغربية فى المحيط الهادى . وفى بحر أختسك Okhotsk يختلف مدى المد أيضا فى مختلف أجزائه. ففى معظم مياه البحر لايزيد المدى عن قدمين ولكنه فى بعض أجزائه يصل الفرق بين مستوى المد والجزر إلى نحو ٣ متر (١٠ قدم) بل إلى ١١ متر (٣٧ قدما) عند رأس أحد مضايقه ، وهو مضيق بنجينيسك Penjinesk .

هذه الإختلافات فى مدى حركة المد والجزر من مكان لآخر تُفسرها نظرية التذبذب المدى Tidal Oscillation . ومؤداها أن حركة الماء صعودا

وهبوطا فى كل حوض طبيعى تحدث حول مركز تقديرى لايتضح فيه المد.

ففى الحوض الذى تقع فيه مياه خليج فندى Fundy وجزيرة نانتوكيت ، نجد أن الجزيرة تقع قرب مركز الحوض حيث تقل الحركة ، ولذا يضمحل فيها مدى المد . فإذا اتجهنا نحو الشمال على طول سواحل ذلك الحوض ، نجد أن مدى حركة المد تزداد تدريجيا فتصل إلى ١,٨ م (٦ أقدام) عند رأس كود Cod ، وإلى حوالى ٢,٧ مترا (٩ أقدام) عند جلوسستر Gloucester ، وإلى حوالى ٥ م (١٦ قدما) عند رأس كودى Quoddy ، وإلى نحو ٦,٣م (٢١ قدما) عند سان جون St. John ، وإلى ١٢م (٤٠ قدما) عند فولى بوينت Folly Point . ويبلغ المد مداه فى ذلك الحوض عند رأس خليج فندى .

ويُعزى إشتداد حركة المد فى خليج فندى إلى أسباب عدة منها :

أن الخليج يقع عند نهاية حوض الذبذبة المدّية ، وتتفق الذبذبة فى الحوض مع حركة المدّ المحيطية التى تؤازرها وتزيد من عنفوانها ، كما أن الخليج يزداد ضحولة وضيقا نحو الداخل ، مما يؤدى إلى تراكم كميات هائلة من المياه تؤدى إلى ارتفاع المد إرتفاعا عظيما .

ويختلف **نظام المد ومداه** من محيط لآخر ، فالمدّ والجزر يتعاقبان كما يتعاقب الليل والنهار ، ولكن ليست هناك قاعدة ثابتة تحكم عدد مرات حدوث المد والجزر . فعلى شواطئ المحيط الأطلسى ، سواء فى ذلك الغربية منها والشرقية ، يتوالى حدوث المد والجزر مرتين لكل منهما فى اليوم القمرى (اليوم القمرى = ٢٤ ساعة ، و ٥٠ دقيقة) . ويبلغ مدى إرتفاع المد الأول مدى إرتفاع المد الثانى ، كما أن إنخفاض المياه فى الجزر الأول يعادل إنخفاضها فى الجزر الثانى .

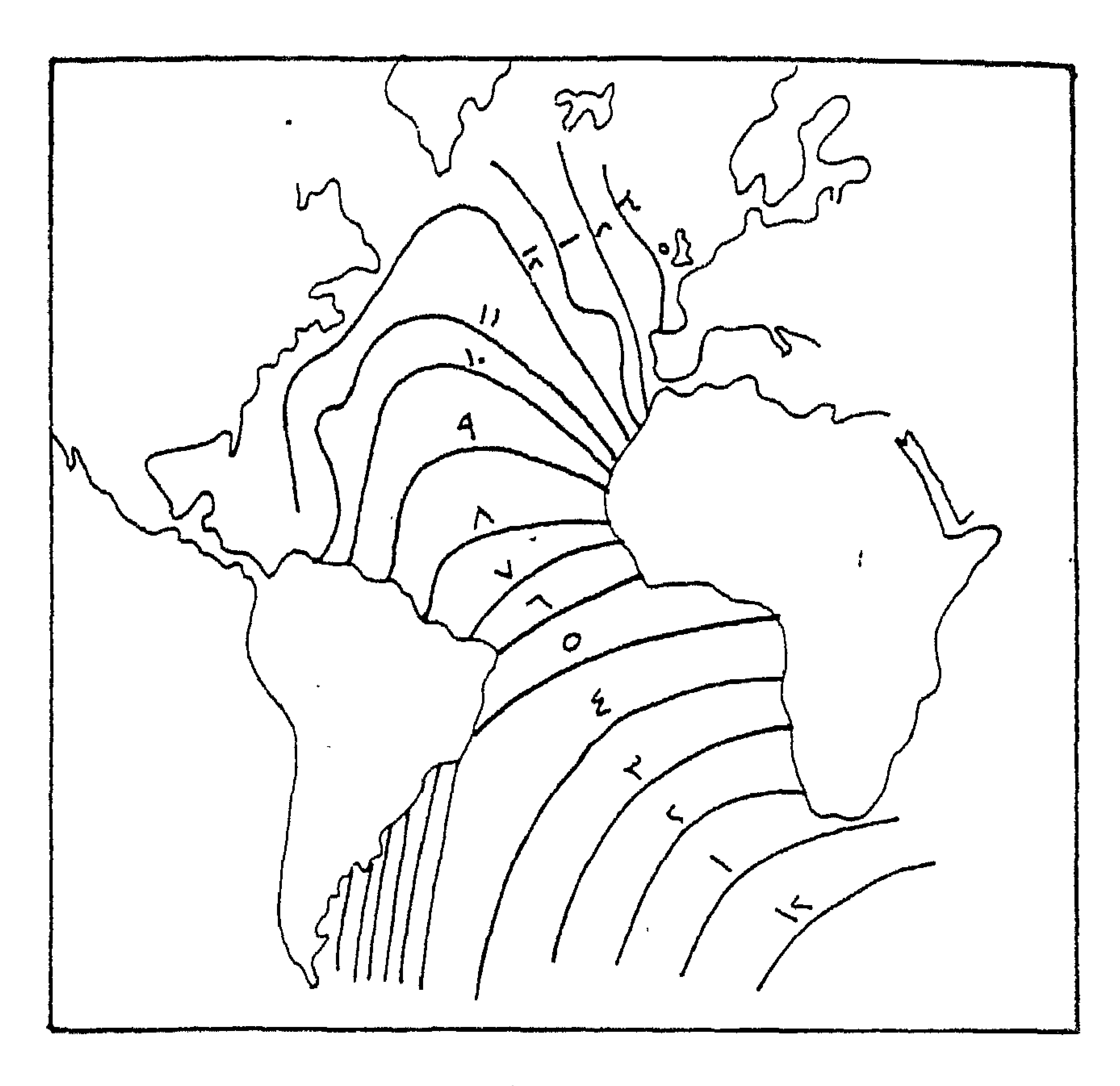
أما فى خليج المكسيك فيسود نظام مغاير على معظم سواحله ، فالمد عموماً لايزيد إرتفاعه عن قدم أو قدمين ، وفى بعض أجزاء شواطئه لايلاحظ سوى إرتفاع واحد بطئ وانحسار واحد ، يتم بهدوء وبطء فى

ـترة اليوم القمرى . مثل هذا النظام نجده أيضا فى جهات أخرى من العالم مثل جزيرة سانت ميشيل (إحدى جزر أزورس) . وفى سواحل الاسكا .

أما فى معظم سواحل المحيط الهادى والمحيط الهندى فيسود نظام المحيط . ففيها يحدث مدان وجزران يوميا . ولكن قد لايصل المد الثانى ارتفاع المد الأول ، بل قد لايصل أحيانا إلى مستوى البحر العادى وقد يحدث التباين فى مدى الجزرين . هذا التباين فى إستجابة مياه البحار والمحيطات لحركات المد والجزر يفسره العلماء المختصون بعمليات حسابية.

ولكى نلمّ ببعض الشواهد والأسباب ينبغى أن نذكر مختلف العوامل المكونة للقوى التى تُحدث حركة المد والجزر ، هذه القوى التى تتوقف على موقع الشمس والقمر والأرض كل منهما بالنسبة للآخر . وكل جزء من اليابس والماء ـ تبعا لموقعه وظروفه الجغرافية المحلية الخاصة به ـ يتأثر بتلك القوى بدرجات متفاوتة ، وعلى هذا يمكن القول بأن المحيط الأطلسى ، بما يمتاز به من شكل معين ، وأعماق معلومة ، يستجيب للقوى التى تُحدث المد والجزر مرة لكل منهما فى نصف اليوم . بينما يتأثر كل من المحيط الهادى والمحيط الهندى بالقوى اليومية ونصف اليومية ، فينتج عن ذلك نظام خليط بين نظام نصف اليوم ونظام اليوم (يقصد بالنظام اليومى Diurnal rhythm حدوث المد والجزر مرة لكل منهما فى كل نصف يوم) .

وتصل موجات المد الرئيسية إلى الجزر البريطانية من المحيط الأطلسى من الجنوب الغربى ، فترتفع المياه فى السواحل البريطانية على المحيط الأطلسى من الساعة الرابعة والنصف إلى السادسة والنصف بتوقيت جرينتش ، ويصل المد إلى جزيرة يوشانت U Shant حوالى الساعة الرابعة ، وإلى سواحل جنوب غرب أيرلندا فى الساعة الرابعة والنصف ، وإلى جزر سيلى Scilly حوالى الساعة الرابعة والدقيقة الخمسين ، وإلى الطرف الشمالى الغربى لأيرلندا حوالى الخامسة والنصف ، وإلى جزر هبريدا الخارجية فى السادسة والنصف بتوقيت جرينتش .



شكل (٦٥) : خطوط أوقات المد المتساوى فى المحيط الأطلسى .

هى خطوط تصل الأماكن التى عندها يحدث أعلى مد فى زمن واحد ، عقب المحاق والبدر ، وبعبارة أخرى، هى الخطوط التى تصل الأماكن التى عندها يكون عمر المد العالى واحداً .

والشكل أعلاه مرسوم حسب دراسات هويل W. Whewell ، التى كان الغرض منها تتبع توالد أمواج المد على امتداد كل من المحيطات الأطلسى والهادى والهندى ، ومقارنة المشاهدات التى قام بها ربابنة السفن وملاحوها بمفهوم النظرية المدية Tidal Theory ، التى أمكن استنتاجها من قوانين الجاذبية . وقد تتبع هويل الموج المدى على إمتداد سواحل القارات ، وسواحل الجزر البريطانية . ومن المعلومات التى أمكنه تجميعها رسم خريطتين لخطوط المد المتساوى ، إحداهما خريطة عامة للعالم ، والأخرى للبحار المحيطة بالجزر البريطانية .

ولايبدو إرتفاع المد واضحا فى مياه المحيط العميقة ، فهو لايزيد عادة عن ١,٥ متر (خمسة أقدام) . والمد هنا أيضا لايقابل عقبات فى سبيله ، وحينما يصل إلى نطاق الرصيف القارى حيث تقع الجزر البريطانية ،

يضعف تقدمه ، نظرا لإعتراض الرصيف القارى لمساره ، وأخيرا ينقسم المد إلى ثلاثة تيارات رئيسية :

أحدها يتجه إلى القنال الإنجليزى ، والثانى إلى البحر الإيرلندى ، والأخير إلى الغرب من أيرلندا وإسكتلندا ويتجه شمالاً إلى جزر Faroes.

وقد لوحظ أن الجانب الشرقى لتيارات المد على السواحل يرتفع إرتفاعا ملحوظا عنه فى الجانب الغربى ، ويصل إرتفاع المد إلى نحو ٣ متر (عشرة أقدام) فى جنوب غرب أيرلندا ، وإلى ٢,٧ متر (٩ أقدام) فى سواحل جزيرة يوشانت U Shant فى شمال غرب فرنسا .

ويصل المد أقصى إرتفاعه فى ست مناطق هى :

١ ـ سانت مالوبايت (شمال غرب فرنسا) St. Malo Bight حيث يصل إرتفاع المد إلى ١١ متر (٣٧ قدما)

٢ ـ بورتش هيد Portish Head قرب مصب نهر سيفرن فى خليج بريستول ـ ويلز . حيث يرتفع المد إلى ١٢,٦ متر (٤٢ قدما) .

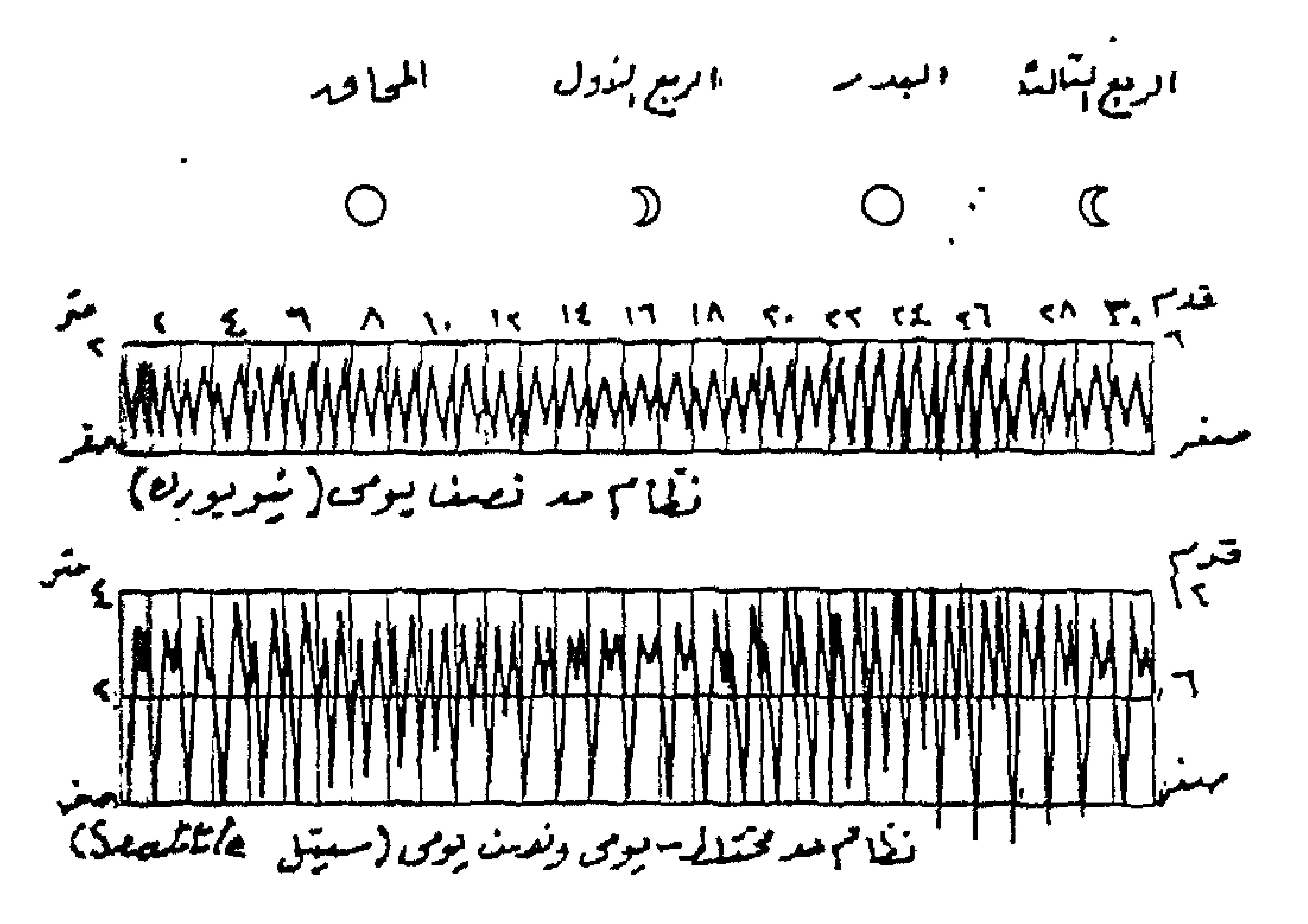
٣ ـ مياه خليج واش Wash (انجلترا) ، يصل إرتفاع المد إلى ١٠ متر (٢٣ قدما) .

٤ ـ القنال الإنجليزى بين بلدة هاستنج Hastings (تقع على ساحل إنجلترا على مضيق دوفر) ، ونهر سوم Somme (فرنسا) ، وفيها يرتفع المد إلى ٨,٤ متر (٢٨ قدما) .

٥ ـ ليفربول ، حيث يصل إرتفاع المد إلى ٨,٤ متر (٢٨ قدم) .

٦ ـ مدخل نهر الفيزر Weser (ألمانيا) ، حيث يبلغ المد إرتفاعا قدره ٣,٦ متر (١٢ قدما) .

ويحدث المد الأقصى فى الثلاث مناطق الأولى فى وقت واحد بين الساعة السادسة والنصف ، والسابعة والنصف بتوقيت جرينتش . وفى المناطق الثلاث الأخيرة ما بين الساعة العاشرة والدقيقة الخامسة



شكل (٦٦) : التغيرات التى تنتاب ظاهرة المد والجزر أثناء شهر واحد (التيارات الدوارة) .

يسبب الارتفاع والانخفاض فى منسوب المياه حين المد وحين الجزر حركات أفقية للماء ، مثلما يحدث لأمواج المياه الضحلة . وتسمى هذه الحركات الأفقية تيارات المد والجزر Tidal Currents . وتغير تيارات المد والجزر اتجاهاتها باستمرار فى عرض البحر ، نظرا لعدم وجود عوائق تقف فى سبيلها . وتعرف هذه التيارات بإسم التيارات الدوارة Rotary Currents . وتكرر التيارات هذه الدورة مرة فى كل فترة مدية - جزرية Tidal Period .

والأربعين، والساعة الحادية عشرة والدقيقة الخامسة والأربعين بتوقيت جرنتش .

إيجابيات المد والجزر وسلبياتهما (كوارثهما)

وتساعد تيارات المد والجزر حركة الملاحة ، ولكل ميناء توقيت معين لدخول السفن وخروجها منه يتفق مع نظام حركة المد والجزر، إذ تستطيع السفن الإقتراب من الأرصفة لإجراء عمليات الشحن والتفريغ فى وقت حدوث المد، ثم تسرع فى الإبتعاد عنها حينما يحلّ الجزر، حتى لا تجنح فى القاع حينما تنحسر المياه . **ويصبح خطر موجات المد شديدا فى الخلجان والممرات المائية الضيقة ، وخاصة حينما تعترض مسار المد رياح أو أمواج مضادة** . ففى منطقة جزر ألوشيان حيث توجد بعض المضايق التى تستخدمها السفن فى رحلاتها بين المحيط الهادى وبحر برنج Behring ، **يشتد خطر التيارات المائية التى قد تلقى بالسفن فجأة وعلى غير إنتظار بعيدا عن مسارها الطبيعى فتصطدم بالصخور.**

الفيضان أو الطوفان

المستوى العادى للماء

الجزر

الزمن بالساعة

شكل (٦٧) : تيارات المد والجزر فى مدخل أدميراليتى Admirality Inlet ، خليج بوجيت Puget ، واشينجتون .

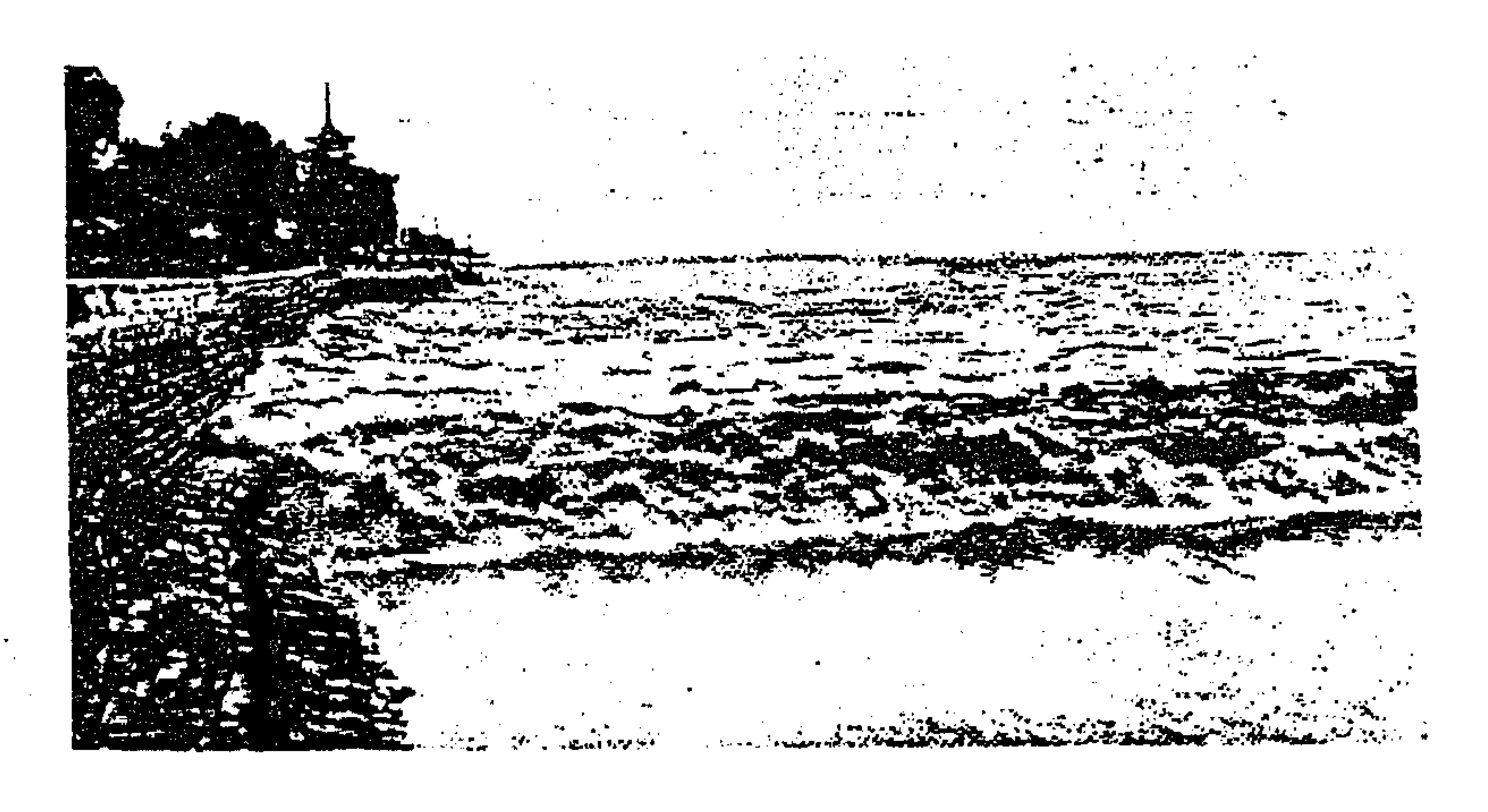
حينما يرتفع الماء فى مرفأ ، يتدفق الماء تجاه اليابس . وتعرف تيارات المد المتجهة نحو الشاطئ ، ونحو أعالى النهر فى المصبات النهرية الخليجية ، بإسم تيارات الفيضان Flood Currents ، أو الطوفان Bore . وتفصل فترات المستوى العادى للماء (الماء المتراخى Slack Water حين تنعدم التيارات أو تكاد تتلاشى) تيار الجزر Ebb Current عن تيار الفيضان أو الطوفان .

وفى مضيق أكون Akun تبلغ قوة تيار المد قوة سيل جبلى ، وتُصاحبه دوامات غاية فى الخطورة . ومثلها أيضاً تيارات المد التى تحدث فى منطقة جزر لوفوتن Lofoten (النرويج) ، وسبب قوتها عدم إنتظام القاع فى المنطقة ، وحينما تشتد تلك الأمواج المدية وتضطرب ، تنشأ عنها دوامات مائية تسمى هناك مالستروم Malstrom تستحيل معها الملاحة ، فلا تقترب السفن من الجُزُر أو من مجال وجودها حتى تتلاشى .

وتشبه دوامات مالستروم فى شكلها الكأس أو القمع ، فتبدو فتحاتها واسعة مستديرة ثم تضيق رويدا رويدا وتنجرف مع التيار حتى تتلاشى، وينشأ غيرها وتتابع وتتلاحق كأنها « مطبات » على طول التيار ، تلتهم مايصادفها من قوارب صيد أو غيرها .

ومثلها الدوامات التى تحدث فيها يعرف بمثلث برمودا Bermuda الذى يُعرف بمثلث الشيطان Devils Triangle ، وهو مساحة بحرية

مثلثة الشكل تقع فى بحر سارجاسو Sargasso الذى يقع فى شرق الولايات المتحدة الأمريكية فى شمال غرب المحيط الأطلسى . وتقع إحدى رؤوس المثلث المائى فى ساحل جنوب فرچينيا ، والرأس الثانية تمثلها جزر «برمودا» التى يبلغ عددها ٣٠٠ جزيرة ، ومساحتها ٥٤٠ كم٢ ، والرأس الثالثة فى أقصى جنوب شبه جزيرة فلوريدا . وفى هذا المثلث البحرى البالغ مساحته ٣٠٥ ألف كم٢ تحدث **كوارث إغراق السفن الكبير منها والصغير ، كما تَخْتَفِى أسراب الطائرات فى مجاله الجوى** . وليس هناك من تعليل لهذه الظاهرة سوى حركة المياه : المدّ والجزر ، **والأمواج العاصفة ، والدوامات المائية ، والعواصف المدارية الدوارة من صنف التورنادو والهاريكين** . ويهلك فى تلك المنطقة البحرية آلاف السفن، ويختفى معها آلاف الركاب والبحارة .



شكل (٦٨) : الطوفان العظيم فى مجرى تسيين ـ تانج ـ كيانج فى الصين .

لعل هذا النهر هو أكثر الأنهار تأثراً بالطوفان المدى Tidal Bore . يصرف هذا النهر مياهه من خلال مصب خليجى Estuary تكتنفه مسطحات الرمل والشطوط الرملية ، ويقع فى موقع مناسب لاستقبال أمواج المد من المحيط الهادى . ويبلغ مدى المد المنتفخ Spring range . عند مدخل النهر نحو ٣.٦ متر (١٢قدم) ، لكن حينما تنضغط المياه وتتدافع فى مصب خليجى كهذا يضيق صوب أعالى النهر ، فإن ارتفاع الموجة قد يصل إلى ٩ متر (٣٠ قدم) . وتمر الجبهة المتقدمة بسرعة ١٤ عقدة (العقدة البحرية = ١.٨٥٣ كم) أى نحو ٢٦ كيلو متر فى الساعة ، صانعة شلالا من الزبد الأبيض الوضاء المملوء بالفقاعات يصل إرتفاعه بين مترين وأربعة أمتار .

وتستغل السفن الشراعية هذه الظاهرة فتنتظر تيار الطوفان ليساعدها على السير نحو أعالى النهر ضد تياره .

وتسـبب حـركة المد أيضا ما يعـرف **بالطوفان Bore** ، وأمـثـاله فى العالم سـت أو نحو ذلك . وينشـأ الطوفان عندمـا يغزو المد نهرا من الأنهار فى شكل موجة أو موجتين تنفذان إلى النهر بجبهات عالية شديدة الإنحدار . ولتكّون الطـوفـان ظروف خـاصـة ، إذ ينـبـغى لتكوينه أن يكون مـدى المد كـبيرا ، وأن يتوفـر وجود حـاجز رملى عنـد مصب النهـر ، تُحـتـبس أمامـه مياه المد وتُختزن لتندفع بشـدة فى مجرى النهـر ، وهذا مايحدث مـثلاً فى نهر الأمـزون ، إذ تـخترق مياه المد مـجرى النهر فى شكل طوفان يسير ضد تيار النهر تجاه أعاليه مسافة تبلغ نحو ٣٢٠ كيلو متراً (٢٠٠ ميل) .

والواقع أن طبيعة الأمـواج المديّة فى المصبات الخليجية للأنهار تعتمد على عدة عوامل :

أولها : تيار النهر الذى ، بسـبب قوة الجاذبية الأرضـية ، يدفع مياه النهر تجاه البحر .

ثانيها : مـوجة المدّ التى ، عند دخـولها وادى النهر ، تتـحرك صـوب أعاليه بسـرعة تتوقف على عمق وشكل المصب الخليجى .

ثالثها : التيار المدّى Tidal Stream الذى ينشأ حينما يكّون مستوى البحر قد إرتفع بدرجة كافية فى الجزء الأدنى من المصب بالنسبة للمنحدر العادى للسطح ، وبذلك ينعكس الإنحدار .

وحينمـا تدخل موجة مدّية من المحيط فى النهر ، فـإنها تُصـادم تيار النهر . وهذا من شأنه أن يؤثر فى إنقاص منحدر جبـهة موجة المدّ . وحينما يرتفع الماء فـى نطاق المصب ، فـإن مـياه الـنهـر تُحـتـبس . وبعـدمـا يُصـبح منحدر الجبهة أفـقيا ، تتـدفق مياه البـحر نـحـو أعلى النهر كتـيار فيضـانى Flood Stream ، ويستمر حتى يتراخى الماء العالى .

ويحـدث عند مداخـل كـثـير من الأنهـار أن يرتفع مـسـتـوى البحـر بسـرعة ، بدلا من الإرتفاع التدريجى فى مستوى الماء بسبب تقدم واقتراب موجة مدّ . ويرجع ذلك إلى شـدة إنحدار جبهة مـوجة المدّ . وعـادة مايكون

للجبهة قمة تتقدم نحو أعلى النهر كطوفان مدّى Tidal Bore أو مايُسمى إيجر Aeger .

وتحدث هذه الظاهرة ، كما ذكرنا ، فى الأنهار التى لها مصبات بشكل قمعى ، وحيث تتميز المصبات الخليجية بالشطوط الرملية ، وحيث يكون مدى المدّ كبيراً .

وبالإضافة إلى طوفان تسيين - تانج - كيانج - ، وطوفان الأمزون ، هناك أمثلة أخرى للطوفان المدّى فى أنهار : سفرن Severn بانجلترا ، والسين Seine وأورن Orne ، وجيروند Gironde بفرنسا ، بيتيت كودياك Petitcodiac فى خليج فندى Fundy .

الفصل الثامن
حركات المياه فى المحيط
التيارات البحرية وكوارثها

تعتبر تحركات مياه البحار والمحيطات من بين العوامل الهامة المؤثرة فى عالم الأحياء البحرية . وبغض النظر عن حركة الأمواج قرب السطح ، وحركات المد والجزر فى النطاقات الساحلية الضحلة ، فإن كتلة المياه جميعاً فى حركة دائمة . وتسير الحيوانات والنباتات الطافية مع تحركات المياه .

ولقد نجد البحر فقيراً فى البلانكتون فى بعض المناطق ، وغنياً بتلك الكائنات فى مناطق أخرى ، ويشبه هذا ما نجده على سطح اليابس من مناطق خصب ونماء ، ومناطق جدب ومحولة . ومع هذا نجد مناطق الغنى والفقر فى الكائنات البحرية تتغير فى مواقعها من يوم لآخر ، سواء فى النطاقات الساحلية أو فى عرض البحر أو عند قاعه ، ولايعزى هذا التغير إلى مدى توفر مصدر الغذاء الرئيسى فحسب ، وإنما يرجع أيضاً إلى تحركات المياه ، إذ نجد الكثير من صغار الأسماك وغيرها من الأحياء تجرفها حركة المياه فى اتجاه أو فى آخر نظراً لضعفها ورقتها . **ومما لاشك فيه أن حركة المياه عظيمة الأثر فى الأحياء البحرية .**

وسائل دراسة التيارات البحرية

وقد أمكن التعرف على النظم العامة للتيارات المائية البحرية السطحية فى العالم عن طريق الملاحظات والمشاهدات الكثيرة التى جمعها الملاحون فى رحلاتهم العديدة . ولنفرض أن سفينة تتحرك من مكان ما خلال طريق ملاحى معين بالاستعانة بالبوصلة لتصل إلى مكان ثان فى يوم كامل مثلاً ، وإذا حدث فى نهاية الأربع والعشرين ساعة ، أن وجد الملاح سفينته ـ بالاستعانة بالشمس أو النجوم ـ قد وصلت إلى مكان ثالث

يبعد عن هدفه بخمسة كيلو مترات إلى الجنوب الشرقى منه ، فإنه يعلم حينئذ ـ إذ لم تكن هناك رياح يعزى إليها ذلك الإنحراف ـ أن المياه السطحية تتحرك فى تيار يتجه صوب الجنوب الشرقى بسرعة تقرب من خمسة كيلو مترات فى اليوم .

وقد كان للضابط البحرى الامريكى مورى M.F Maury فضل كبير فى تسجيل الكثير من المعلومات عن حركة التيارات البحرية والرياح على أساس أصولى ، وكتب أول مؤلف عن الجغرافية الطبيعية للبحر فى عام ١٨٥٥ . وقد كان للخرائط التى رسمها لنظم الرياح والتيارات البحرية فى العالم فائدة كبيرة للتجارة ، فقبل نشرها كان متوسط الزمن الذى تستغرقه السفن بين انجلترا واستراليا ١٢٤ يوماً ، ولكن باستخدام تلك الخرائط نقصت تلك الفترة إلى ٩٧ يوم ، وأختصرت الفترة التى كانت تستغرقها أيضاً بين كاليفورنيا ونيويورك ، إذ كانت قبل رسم خرائط مورى ١٨٣ يوم ، فأصبحت بعد استخدام تلك الخرائط ١٣٥ يوم .

ودراسة التيارات البحرية عن طريق السفن وسيرها فى البحار تجرى فى المحيطات والبحار الواسعة ، ولكن الدراسة التفصيلية ، وخاصة فى المسطحات المائية المحدودة لاتناسبها هذه الطريقة . لهذا فقد استخدمت وسيلة أخرى لقياس التيارات وذلك بواسطة **الزجاجات الطافية** Drift - Bottles . وتلقى الآلاف من تلك الزجاجات فى البحر فى أماكن معلومة ، فتجرفها التيارات البحرية وتلقى بها عند السواحل ، وبداخل كل زجاجة بطاقة تحمل رقماً وتاريخاً معيناً ، كما تحمل رجاء لمن يعثر عليها أن يرسل إلى عنوان معين بطاقة يكتب فيها موقع المكان الذى عثر عليها فيه ، وتاريخ العثور عليها . وبهذه الطريقة استطاع فولتون T.W Fulton الباحث الاسكتلندى أن يرسم أول خريطة للتيارات البحرية الرئيسية فى بحر الشمال فى بداية هذا القرن .

وهناك نوع من الزجاجات يناط بها ثقل معين ، وتطلق فى البحار الضحلة كبحر الشمال والقنال الانجليزى ، وتستخدم لدراسة حركة المياه

فى المستويات السفلى ، وهذه يعثر عليها الصيادون إذ تعلق بشباك الصياد . وقد أجرى الكثير من التحسينات على أمثال هذه الزجاجات لتفى بالغرض ، كما أن بعض المشتغلين بعلوم البحار يستخدمون مظاريف من البلاستيك .

وقد صممت أجهزة خاصة لقياس ودراسة سرعة التيارات البحرية واتجاهاتها بدقة وعلى مستويات مختلفة فى المياه العميقة ، منها جهاز إكمان Ekman الشائع الاستعمال .

وقد وجد أن المستويات العليا من مياه البحار والمحيطات تسير بسرعة أكبر من سرعة المستويات السفلى . وهذا طبيعى لأن المستوى العلوى من المياه يتأثر بحركة الرياح ، كما أن المستويات السفلى تتأثر بالاحتكاك بقاع البحر الذى يعرقل حركتها . ومثل هذا الاختلاف فى سرعة تحرك المياه يؤثر فى توزيع الكائنات الحية من يوم لآخر . وفى الأحواض المحيطية العميقة قد نجد تيارات مائية فى مستويات مختلفة تتحرك فى اتجاهات متضادة .

هذا ومن الممكن تقدير اتجاهات التيارات البحرية بدون استخدام الزجاجات العائمة أو أجهزة قياس التيارات ، وذلك بواسطة رسم خطوط لدرجات الملوحة التى يحصل عليها من تحليل عينات من المياه تجمع من عدد من النقاط المختلفة فى مساحة معينة . ومثال ذلك نجد أن اللسان من المياه الشديدة الملوحة ، الذى يبرز ممتدا فى مسطح مائى أقل فى درجة ملوحته ، يشير إلى تحريك تيار من مياه المحيط يتدفق إلى منطقة ساحلية، حيث يختلط الماء المحيطى المالح بالماء العذب الآتى من اليابس . ويمكن أيضاً تقدير اتجاه التيارات البحرية وسرعتها النسبية بطرق حسابية متقنة تنبنى على أساس معرفة التباين فى كثافة المياه فى مختلف المناطق .

وأحياناً يمكن استخدام البلانكتون النباتى والحيوانى كمشير

لتحركات المياه من مكان لآخر ، مثال ذلك نوعان من الحيوانات الطافية هما فيساليا Physallia وفيليلا Velella ، وهى كائنات تعيش فى المياه المدارية ، تصل إلى مياه القنال الإنجليزى والسواحل البريطانية مدفوعة بالتيارات المائية . والواقع أن فكرة استخدام الكائنات العائمة كدليل على تحرك المياه فى تيارات بحرية ليست فكرة حديثة ، كما قد يتبادر إلى الذهن ، إذ هى فى الواقع قديمة ، فقد أكد أهميتها الباحث أجاسيز A.Agassiz فى عام ١٨٨٣ ، وأشار إلى أنها ظاهرة يختص بها تيار الخليج، فحيثما يمتد تأثير ذلك التيار توجد تلك الكائنات ، وقد اعتبر تلك الحيوانات الطافية خير مرشد لمجرى ومجال تيار الخليج ، وسماها بالزجاجات الطافية الطبيعية .

وفى متحف قسم التاريخ الطبيعى بجامعة أبردين ، توجد مجموعة من البذور لنباتات تنمو فى أمريكا الجنوبية وجزر الهند الغربية ، التقطت عند سواحل جزر هبريدا الخارجية ، وقد جمعها ماك جيليفراى W. L. Mac Gillivray فى الفترة بين عامى ١٩٠٨ ـ ١٩١٩ ، وهى بذور تمثل سبع عشرة فصيلة نباتية مدارية حملها معه تيار الخليج إلى المياه الأوربية.

العوامل المؤثرة فى التيارات البحرية

وهناك **ثلاثة عوامل** تتسبب فى إحداث التيارات البحرية ، ولم يتفق المشتغلون بعلوم البحار والمحيطات على ترتيبها من حيث الأهمية . وعلى أى حال فجميعها تشترك بقسط وافر فى تحريك المياه .

العامل الأول : الرياح الدائمة

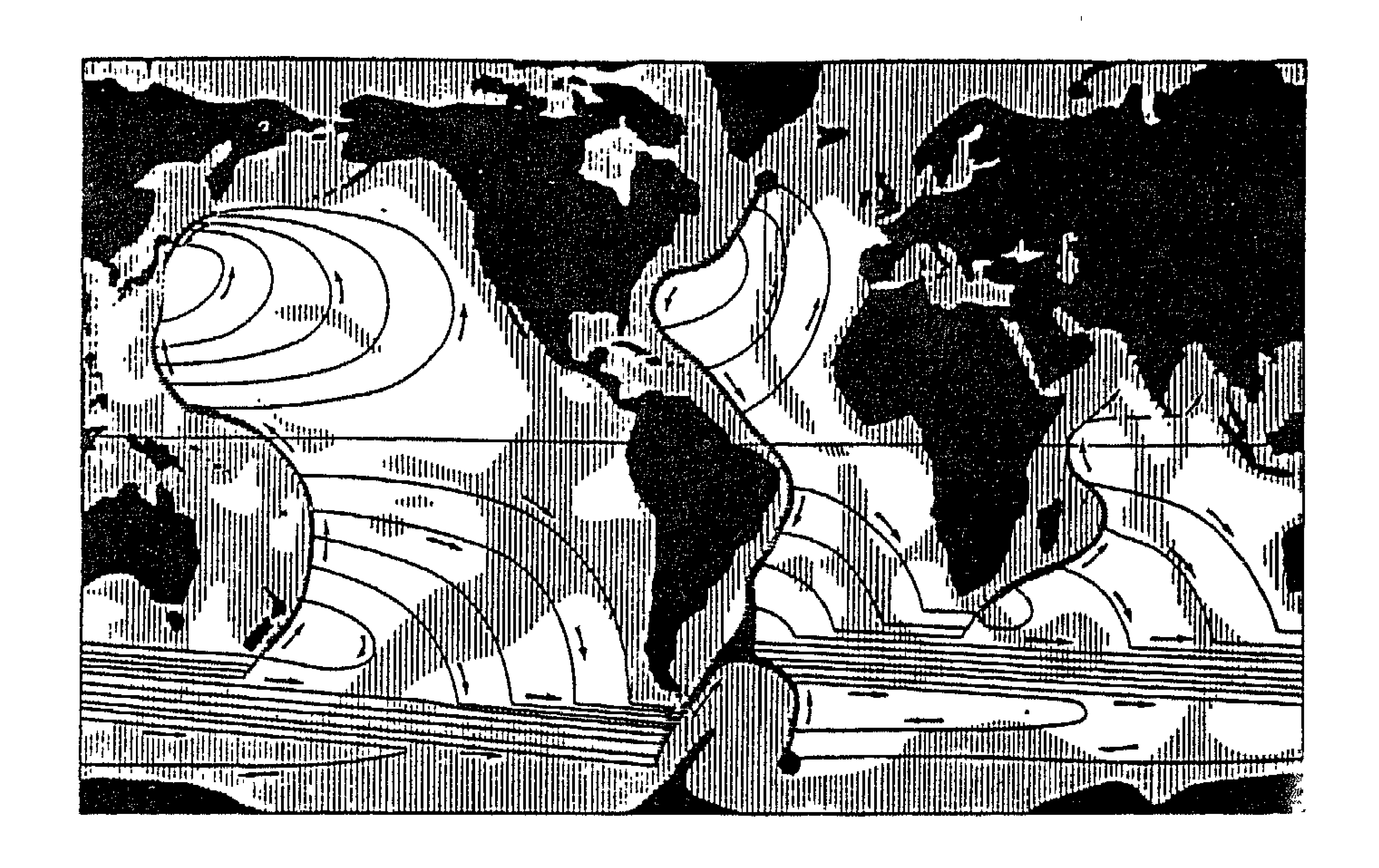
وأولى تلك العوامل هى **الرياح الدائمة** وتأثيرها على مساحات واسعة من المسطحات المائية ، وخاصة الرياح التجارية الشمالية الشرقية ، والجنوبية الشرقية التى تهب صوب خط الأستواء من الشمال ومن

الجنوب . ومن الممكن أن هذه الرياح تشارك بدور كبير فى دفع المياه الإستوائية نحو أمريكا الوسطى ، حيث يخرج تيار الخليج ، الذى يعبر المحيط الأطلسى إلى غرب أوربا وشمالها ، وينشر هناك المؤثرات المناخية المعتدلة التى تمتاز بها تلك الجهات على غيرها من المناطق التى تقع فى نفس العروض فى شرق أمريكا الشمالية ، حيث يشيع الجو البارد الذى يسببه تيار لبرادور البارد . ومما لاشك فيه أن تيار الخليج أو تيار المحيط الأطلسى الشمالى له أثر كبير فى مياه غرب أوروبا ، وسنعرض لذلك فيما بعد .

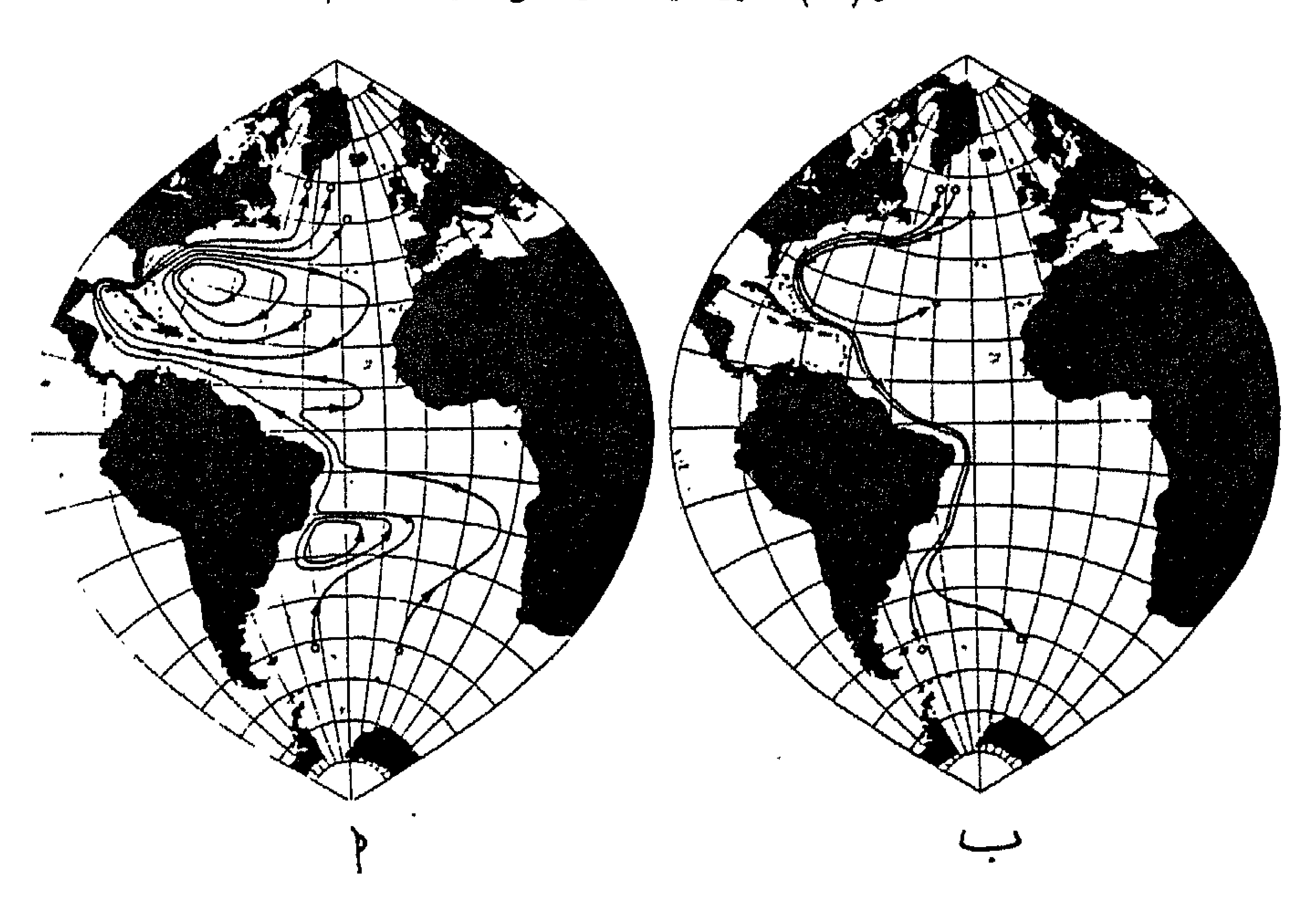
العامل الثانى : القوى الأرشميدية

وعلى الرغم من أن المشتغلين بالطبيعة البحرية يميلون الآن إلى الاعتقاد بأن ضغط الرياح على سطح مياه البحر ، بالإضافة إلى تأثير دوران الأرض يستطيعان إحداث حركات بطيئة فى مياه المستويات العميقة من المحيطات ، إلا أنهم يرون إضافة **عامل آخر** يتمثل فى تأثير القوى التى يعبر عنها **بالقوى الأرشميدية** Archimedian Forces . وتنشأ هذه القوى من تغيرات داخلية تحدث فى كتل المياه وتسبب التغير فى درجة كثافتها . وترجع هذه التغيرات إلى **عاملى التمدد والانكماش** فى المياه نتيجة لتعرضها للحرارة والبرودة ، وقد ترجع أيضاً إلى **ازدياد فى ملوحة المياه** ، نتيجة للتبخر الشديد من المياه السطحية ، مثل ما يحدث فى الجهات المدارية ، أو قد ترجع إلى **نقص فى درجة الملوحة** نتيجة لتدفق كميات عظيمة من المياه العذبة الناشئة عن ذوبان الجليد أو هطول الأمطار الغزيرة .

ومهما اختلفت الآراء فى شأن هذه العوامل ومقدرتها على إحداث تحركات فعلية فى المياه العميقة، فانه لايشك فى تأثيراتها الواضحة، خاصة فى إحداث التباين والتغير الأفقى والرأسى فى الأحواض المحيطية الكبيرة . وقد ظهر من الدراسات التى قامت بها البعثات الكشفية الانجليزية والألمانية فى المحيط الأطلسى والمحيط الجنوبى حقيقة هامة ، وهى أن



شكل (٦٩) : دورة المياه العميقة فى محيطات العالم



شكل (٧٠) : العلاقة بين دورة التيارات المائية السطحية (أ) ، ودورة التيارات المائية العميقة (ب) فى المحيط الأطلسى

التساقط الغزير فى هيئة أمطار أو ثلوج ، وكذلك ذوبان الجليد المتراكم فوق القارة القطبية الجنوبية لهما تأثير فى مياه المحيط يمتد عبر خط الإستواء إلى نصف الكرة الشمالى ، وهذا مثال يعطينا فكرة عن أهمية تلك القوى الأرشميدية وأثرها فى تحريك المياه .

ويؤثر الغطاء الجليدى الضخم الذى يغطى قارة أنتاركتيكا تأثيراً واضحاً على مياه المحيطات الجنوبية . وترتفع هذه القارة فى شكل هضبة يصل علوها إلى نحو ٢٤٠٠ متر (٨٠٠٠ قدم) ، ويبلغ سمك الغطاء الجليدى الذى يكسوها بضع مئات من الأمتار ، وتغذى الثلوج التى تتساقط فوق القارة ذلك الغطاء الجليدى باستمرار . ويتحرك هذا الغطاء ببطء صوب السواحل ، ويبرز فى المحيط فى شكل حاجز جليدى عائم . ويتكسر هذا الحاجز عند حوافه من حين لآخر منشئاً لجبال جليدية ضخمة . وحينما يذوب الجليد يعمل على تكوين طبقة أو مستوى مائى بارد غير كثيف ، وعلى الرغم من برودة مياهه فإنها تكون أخف من مياه المحيط العادية نظراً لأنها تكون أقل منها ملوحة ، ويتدفق هذا المستوى المائى البارد من حول القارة القطبية الجنوبية صوب الشمال .

وتحت هذا المستوى نجد مياها أكثف وأثقل من مياهه نظراً لأنها قد بردت للتو واللحظة ، ولم تختلط بالمياه العذبة ، وهذه المياه تغوص مكونة **لتيار بارد** يتجه أيضاً صوب الشمال ، ولكن قرب قاع المحيط . وفيما بين التيارين الآنفى الذكر يسير **تيار مائى دافئ** ، ولكن فى اتجاه مضاد أى صوب الجنوب (تيار رجعى) ، وتنبثق مياهه إلى أعلى فى أقصى الجنوب فى مواجهة الجليد ، فتختلط مياهه بمياه الجليد الذائبة فيبرد ، ثم يرتد ثانية صوب الشمال فى **شكل تيار سطحى** . ويستمر هذا التيار متجها نحو الشمال إلى أن يقابل مياها دافئة أخف من مياهه ، ومن ثم يغوص أسفل تلك المياه الدافئة ، ولكنه يستمر فى سيره نحو الشمال ، وقد أمكن اقتفاء أثره حتى خط عرض ٣٠ درجة شمالاً ، حيث يهبط ويشارك فى التيار الرجعى الذى يرتد ثانية صوب الجنوب ليكمل الدورة .

وهنا نجد مثالاً واضحاً لمياه تجرى فى اتجاهات متضادة على أعماق مختلفة ، إذ تتدفق مياه تيار صوب الجنوب بين مياه تيارين يتجهان نحو الشمال أحدهما سطحى والآخر سفلى . هذا ويعتقد ديكون G.E.R. Deacon أن مياه التيار السطحى تستغرق من الزمن نحو سبع سنوات على الأقل فى رحلتها الطويلة من القارة القطبية الجنوبية إلى نصف الكرة الشمالى .

وهناك تيار سطحى بارد شبيه بالتيار السطحى الانتاركتيكى ، يتميز بانخفاض ملوحة مياهه ، يتدفق من المحيط القطبى الشمالى بسبب ذوبان الجليد وتساقط الثلوج والأمطار ، ولكنه ليس بعيد المدى كالتيار الأنتاركتيكى ، وذلك لأن التساقط هنا أقل ، كما أن المحيط المتجمد الشمالى يُعتبر محيطاً شبه مغلق بواسطة الحافات الغارقة . ويهبط هذا التيار البارد تحت المياه الدافئة عند الحدود الشمالية لتيار الخليج الدافئ ، ولا تظهر مياهه عند السطح فى مياه غربى قارة أوربا وشمال غربيها بسبب إنتشار مياه تيار الخليج الدافئة وامتدادها حتى السواحل الشمالية لشبه جزيرة اسكنديناوة . وهنا أيضاً نجد القوى الأرشميدية تلعب دورها فى نظام التيارات البحرية فى شمال المحيط الأطلسى .

العامل الثالث : قوة كوريولى :

والعامل الثالث الذى يؤثر فى التيارات البحرية يرجع إلى دوران الأرض حول نفسها . وتدعى القوة الانحرافية الناجمة عن ذلك باسم قوة كوريولى Corioli's Force نسبة لعالم الطبيعات الفرنسى المسمى بذلك الإسم ، رغم أن مواطنه لا بلاس La Place كان قد اكتشفها ودرسها بدقة من قبله بستين عاماً . وهذه القوة تؤثر فى الغلاف الجوى كما تؤثر فى المسطحات المائية وهى ليست سبباً فى الحركة الداخلية للمياه ، وإنما هى تسبب انحرافها . فالمياه حين تتحرك فى أى اتجاه تنحرف إلى اليمين فى نصف الكرة الشمالى ، وإلى اليسار فى نصفها الجنوبى . ويعظم تأثير هذه القوة تجاه القطبين ، ويبلغ أقصاه عندهما ، بينما يتناقص تأثيرها

تجاه خط الأستواء ، ويتلاشى تأثيرها تماماً عند ذلك الخط .

هذا ويمكن تلخيص العوامل الرئيسية التى تؤثر فى تحريك التيارات البحرية وتوجيهها فى مجموعتين :ـ

الأولى : وتختص بالمياه نفسها ، كالتباين فى كثافة المياه ، والاختلاف فى درجة حرارتها ، ودرجة ملوحتها ، وهذه جميعاً تتوقف إلى حد ما على مؤثرات جغرافية كالتباين فى درجة التبخر ، وضوء الشمس ، وسقوط الأمطار ، وذوبان الجليد .

الثانية : خارج نطاق المياه ، كالرياح واختلاف الضغط الجوى . وتُسهم قوة كوريولى ، وشكل السواحل ، وامتداداتها ، فى التأثير على اتجاه مسار التيارات البحرية .

تيارات المحيط الأطلسى

يمكن تقسيم تيارات المحيط الأطلسى إلى ما يأتى :ـ

١ ـ التيارات الإستوائية

٢ ـ تيار الخليج أو تيار فلوريدا

٣ ـ تيارات المحيط الأطلسى الجنوبى

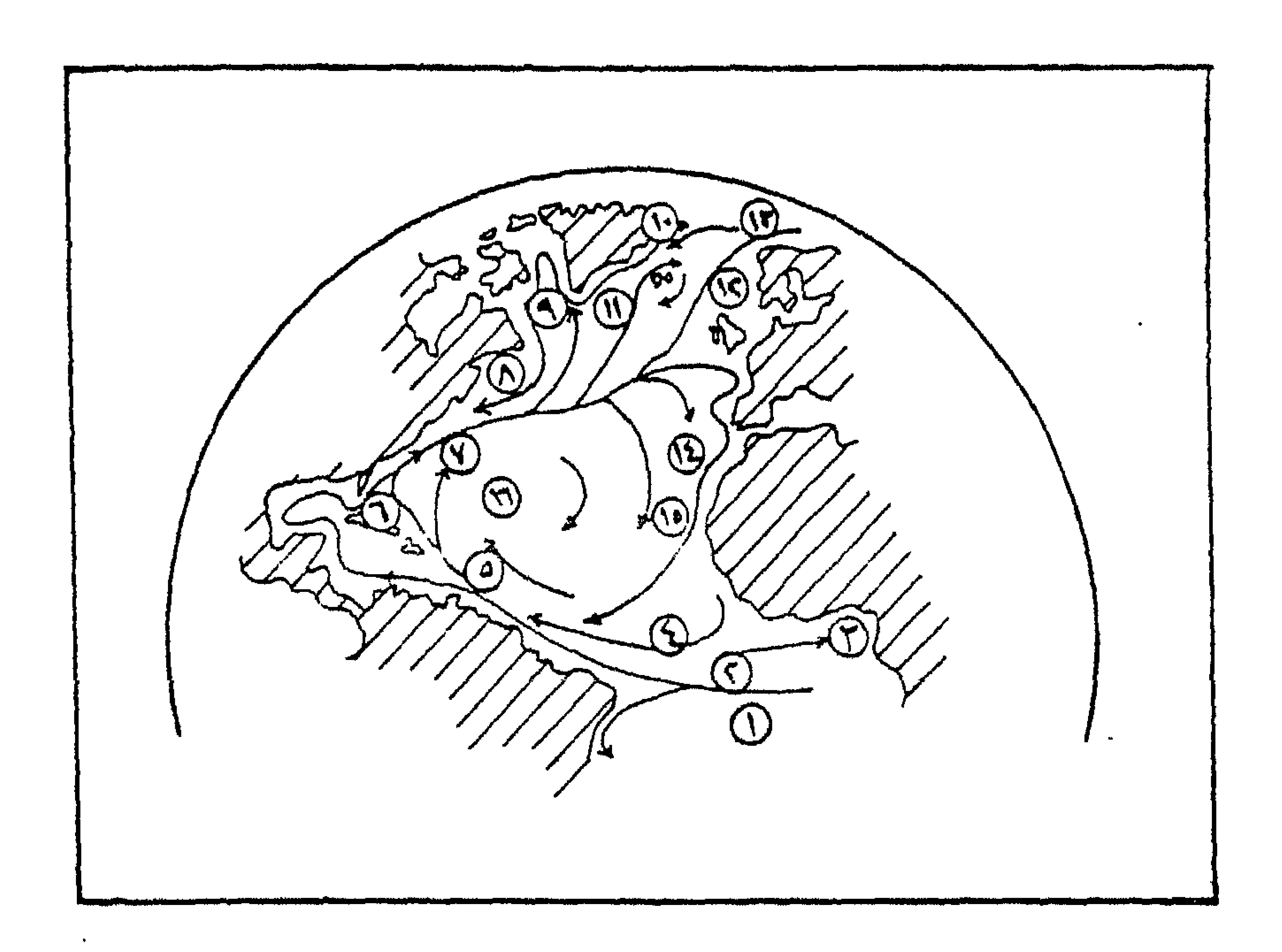
٤ ـ تيارات المياه العميقة

٥ ـ تيارات بحار المحيط الأطلسى

(١) التيارات الإستوائية

هناك تياران إستوائيان رئيسيان هما :

أ) التيار الإستوائى الشمالى ويتفق مساره مع الرياح التجارية الشمالية الشرقية .



شكل (٧١) : التيارات البحرية فى شمال المحيط الأطلسى

١ - التيار الاستوائى الجنوبى
٢ - التيار الاستوائى الرجعى
٣ - تيار غينيا Guinea Current
٤ - التيار الاستوائى الشمالى
٥ - تيار الانتيل Antilles Current
٦ - تيار فلوريدا
٧ - تيار الخليج
٨ - تيار لبرادور Labrador
٩ - تيار غرب جرينلندا
١٠ - تيار شرق جرينلندا
١١ - تيار إرمينجر Irminger Current
١٢ - تيار النرويج Norwegian Current
١٣ - تيار الرأس الشمالى North Cape Current
١٤ - تيار أزوريس Azores Current
١٥ - تيار كناريا Canaries Current
١٦ - بحر سارجاسو Sargasso

(ب) التيار الإستوائى الجنوبى ويتفق مساره مع الرياح التجارية الجنوبية الشرقية .

ويعتبر التيار الإستوائى الشمالى تياراً متغايراً ، فهو يغطى مساحات مختلفة من المحيط فى مختلف أوقات السنة . فحده الجنوبى فيما بين خطى طول ٢٠° ، ٢٥° غرباً ينتابه التغير ، فهو يتفق مع خط عرض ٦ ° شمالاً فى شهرى مارس ومايو ، ومع خط عرض ١٢° شمالاً فى

شهر سبتمبر . وتختلف سرعة التيار من مكان لآخر ، وهى تتراوح بين ٥ ـ ٣٠ ميلاً بحرياً فى اليوم . فهو فى غرب أفريقية ضعيف ، بينما تشتد سرعته عن المعدل قرب جزر الهند الغربية ، ويبلغ التيار أقصى سرعته فى الفترة بين شهرى ديسمبر ويونيو ، إذ تبلغ السرعة حينئذ أكثر من ٤٠ ميلاً بحرياً فى اليوم .

أما التيار الإستوائى الجنوبى فيسير من الشرق صوب الغرب إلى خط طول ٣٠ ° غرباً كتيار دائم وقوى . وتتفق حدوده الجنوبية مع خط عرض ١٥ درجة جنوباً . وعند خط جرينتش يتعدى التيار الدائرة الاستوائية ويصبح حده الشمالى عند الدائرة العرضية ١° أو نصف درجة شمالاً ، وعند خط طول ١٠° غربا يتراوح حدّه الشمالى بين ٣° ، ٤° شمالاً، ويستمر على ذلك الوضع حتى خط طول ٣٠° غرباً .

ويتفرع التيار الاستوائى الجنوبى عند رأس سان روك Cape Saint Roque إلى فرعين : **أحدهما** يسير بطول سواحل أمريكا الجنوبية ، ويسمى بتيار البرازيل . **والثانى** يتجه نحو الشمال الغربى . وبالقرب من مصب نهر الأمزون يتحد هذا التيار الشمالى الغربى مع فرع من التيار الاستوائى الشمالى ، ثم لايلبث هذان التياران أن يتحدا مع التيار الاستوائى الشمالى الرئيسى . ويستمر هذا التيار الموحد بإسم تيار جيانا. وفى مشارف رأس سان روك تبلغ سرعة التيار الشمالى الغربى من ٣٠ ـ ٦٠ ميلاً بحرياً فى اليوم . وأقصى سرعة يبلغها ذلك التيار تصل إلى ١٠٠ ميل بحرى فى اليوم ، وذلك حين يحل الصيف الشمالى .

ويعرف امتداد الفرع الرئيسى للتيار الاستوائى الشمالى مع تيار جيانا بإسم التيار الكاريبى . وتتراوح سرعة هذا التيار بين ٢٤ ، ٧٢ ميلاً بحرياً فى اليوم بجوار الساحل ، ويدخل هذا التيار الكاريبى خليج المكسيك خلال مضيق يوكاتان Yucatan فيما بين يوكاتان وجزيرة كوبا ، ولهذا تشتد سرعته . وبعد أن يدخل التيار الكاريبى الدافئ خليج المكسيك ينحرف شرقاً فيما بين شبه جزيرة فلوريدا وجزيرة كوبا ، ثم بين

فلوريدا وجزر باهاما Bahama ، ليخرج إلى المحيط الأطلسى . ويعرف التيار حينئذ بتيار فلوريد أو بتيار الخليج Gulf Stream .

وإلى الشرق من جزر الهند الغربية يسير تيار رئيسى من التيار الاستوائى الشمالى يعرف بإسم تيار الأنتيل Antilles Current ، ويتخذ هذا التيار اتجاها غربياً وشمالياً غربياً ، وتتراوح سرعة هذا التيار فيما بين جزر الأنتيل الشرقية وبرمودا Bermuda بين ٨ ـ ٢٠ ميلاً بحرياً .

ويمتد التيار الإستوائى الجنوبى على طول ساحل أمريكا الجنوبية بإسم تيار البرازيل ، وهو تيار ضعيف نوعاً ، تصل سرعته إلى نحو ٢٠ ميلاً بحرياً فى اليوم ، ونادراً ما تزيد سرعته عن ٢٤ ميلاً بحرياً .

أما تيار غينيا فيسير بحذاء الساحل الأفريقى فيما بين رأس روكسو Roxo Cape وخليج بيافرا Biafra . ويمتد جنوباً إلى حوالى خط عرض ٣ ° شمالاً ، وأما حدوده الغربية فتصل إلى حوالى خط طول ٤٠ ° غرباً ، وتبلغ سرعة هذا التيار حوالى ١٨ ميلاً بحرياً فى اليوم ، ولكن السرعة قد تصل فى بعض المناطق إلى ٤٠ أو ٥٠ ميلاً بحرياً فى اليوم . ومياه تيار غينيا أكثر حرارة من مياه التيار الإستوائى . أما فى الصيف (فى شهر أغسطس) فيتفوق الأخير على الأول فى درجة حرارة مياهه ، إذ تزيد حينئذ على ٢٨ ° م . وفى ذلك الوقت تكون مياه تيار غينيا أقل حرارة منها فى الشهور الأخرى . وربما يرجع ذلك إلى سقوط الأمطار الموسمية وتبريدها للمياه السطحية .

نظرية التيارات الاستوائية فى المحيط الأطلسى :

تقع التيارات الإستوائية فى المحيط الأطلسى فى نطاق هبوب الرياح التجارية بنوعيها فيما بين المدارين ، وتُعتبر هذه الرياح العامل المسؤول الأول عن تحريك هذه التيارات وتوجيهها .

أما الرياح التجارية الجنوبية الشرقية فهى أقل قوة من الرياح التجارية الشمالية الشرقية ، واتجاهها جنوبى شرقى فى بعض المناطق ،

وجنوب الجنوب الشرقى فى مناطق أخرى . وإلى الشرق من خط جرينتش تصبح هذه الرياح جنوبية ، وعلى الساحل الأفريقى جنوب الجنوب الغربى إلى الجنوب الغربى ، وفى الصيف الشمالى يتزحزح النظام كله نحو الشمال ، وتتسع منطقة الركود حيث تنشأ الرياح الموسمية الجنوبية الغربية . وتستمر قوة الرياح التجارية الشمالية الشرقية كما هى فى الشتاء دون تغير ، أما الرياح التجارية الجنوبية الشرقية فيشتد هبوبها فى الصيف عنه فى الشتاء .

هذه الرياح التجارية هى المسئولة عن تحريك التيارات الإستوائية ، وفى الصيف الشمالى تشتد قوة التيار الإستوائى الجنوبى حينما يقوى هبوب الرياح التجارية الجنوبية الشرقية . أما التيار الإستوائى الشمالى فإنه ينمو أو يتضاءل تبعا لقوة أو ضعف الرياح التجارية الشمالية الشرقية ، ويسير التيار الإستوائى الجنوبى مدفوعا بالرياح التجارية الجنوبية الشرقية إلى أن يصل إلى رأس سان روك ، حيث يتفرع إلى فرعين : أحدهما يتجه نحو الشمال الغربى ، والثانى نحو الجنوب .

أما تيار غينيا فلا يُعزىَ إلى الرياح وحدها ، فقد وجد أن اتجاهه لايتفق تماما مع اتجاه الرياح السائدة ، كما أن قوته أقوى بكثير من قوة الرياح السائدة ، ويُعتبر هذا التيار إلى حد كبير تياراً رجعيا يسير نحو الشرق بين التيار الاستوائى الشمالى والتيار الاستوائى الجنوبى ، فهو تيار (تعويض) تشترك فى تحريكه عدا هذا الرياح ، وخاصة فى الصيف حين تهب الرياح الموسمية الجنوبية الغربية ، ثم لاختلاف الكثافة ، إذ أن مياهه أقل كثافة من مياه التيارين الاستوائى الشمالى والجنوبى .

٢ ـ تيار فلوريدا أو تيار الخليج

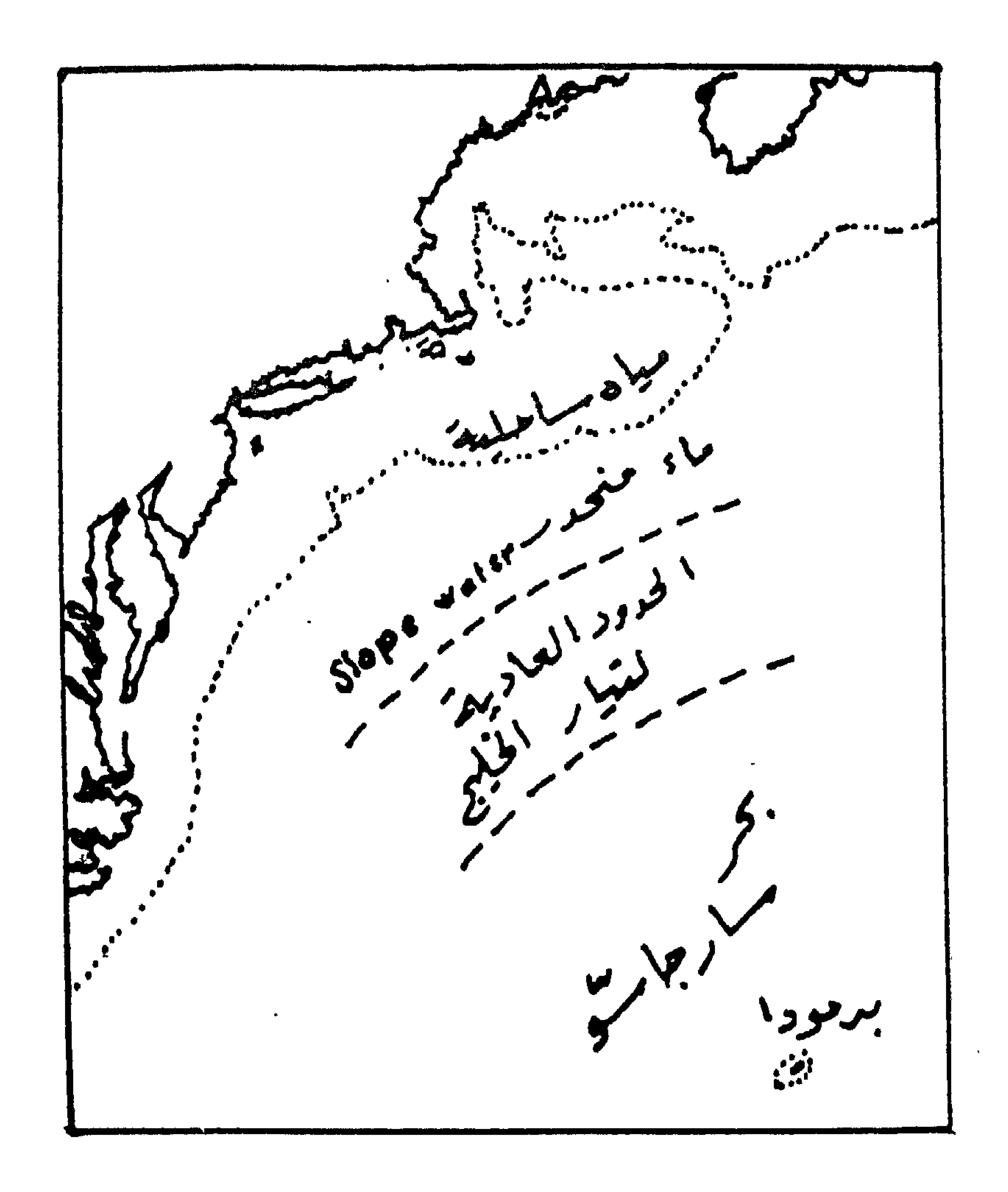
يعتبر تيار فلوريدا ، الذى يشتهر باسم تيار الخليج ، أكثر التيارات المحيطية حظْوة بالدراسة والمعرفة . كما أنه أشهرها وأعظمها على الإطلاق. وقد اكتُشف هذا التيار فى أوائل القرن السادس عشر ، ومنذ ذلك الوقت

نال الكثير من الدراسة والبحث خاصة من جانب الأمريكين . وهذا التيار **يؤثر تأثيرا بيّنا فى مناخ الجزر البريطانية ، وفى مناخ سواحل شمال غرب أوروبا .**

وتبلغ سرعة التيار أقصاها فى مضيق فلوريدا ، حيث تصل سرعته بين ١٦٠ ـ ١٩٠ كيلو مترا فى اليوم الواحد ، أى نحو ١,٥ متر إلى ٢,٥ متر فى الثانية . ويبلغ عرض التيار فى مضيق فلوريدا نحو ٥٠ كيلومترا، وعند خروجه من المضيق يُصبح عرضه بالقرب من رأس كانافيرال Canaveral نحو ١٠٠ كيلو متر وقبالة بلدة تشارلستون Charleston يُصبح عرضه بين ٢٠٠ كيلو متر و ٢٤٠ كيلومترا . وهذا الإتساع المستمر للتيار أثناء مسيره صوب الشمال يكون غالبا تجاه الشرق ، أما من جهة الغرب فإننا نجد حدود التيار تسير عموما مع خط العمق ٢٠٠ متر ، ويمكن للمسافر ملاحظة حده الغربى بوضوح من على ظهر السفينة . وكلّما اتسع التيار قلت سرعته ، فتصبح نحو ٣ كيلومتر فقط فى الساعة قبالة مدينة نيويورك .

وينشأ تيار فلوريدا من احتشاد المياه فى منطقة البحر الكاريبى ، تلك المياه التى يأتى بها التيار الإستوائى الشمالى والتيار الاستوائى الجنوبى ، ثم اندفاعها خارج خليج فلوريدا إلى المحيط الأطلسى . ويتابع تيار فلوريدا مسيره بحذاء الساحل الشرقى لأمريكا الشمالية حتى يصل إلى سواحل نيوفوندلاند حيث يلْتَقى بتيار لبرادور البارد . فينحرف شرقا بتأثير الرياح العكسية الجنوبية الغربية وبتأثير قوة كوريولى .

وإلى الغرب من خط طول ٢٠ درجة غربا يتشعب التيار إلى عدة فروع : أهمها التيار المسمى **بتيار الخليج** الذى يتحرك فى اتجاه الشمال الشرقى ، **وفرع آخر** يتخذ اتجاه الجنوب الشرقى ويمر بجزر أزوريس ، ويصل إلى السواحل الأفريقية حيث يسمى بتيار كناريا Canaries.



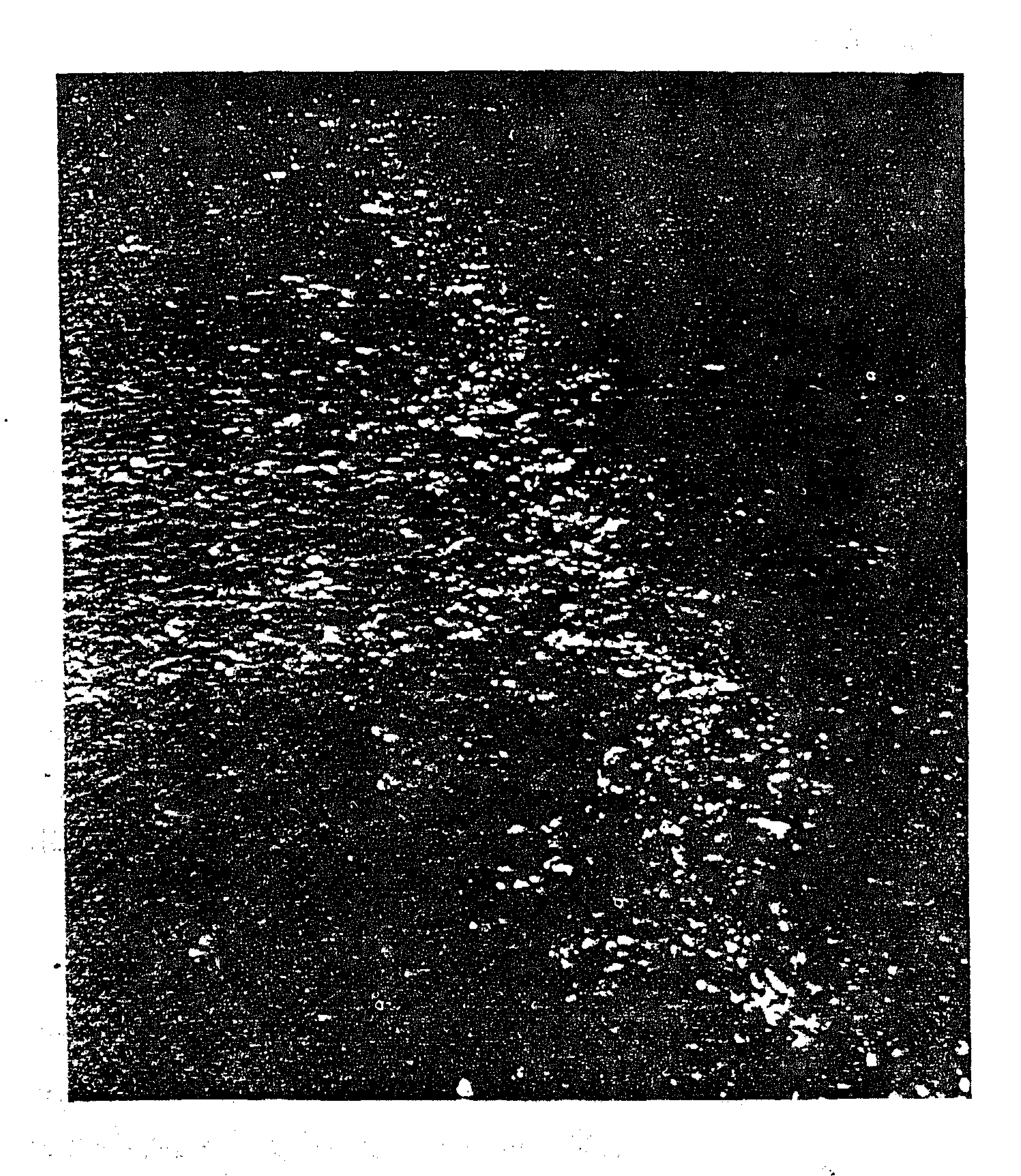
شكل (٧٢) : نطاقات الماء السطحى فيما بين ساحل نيوانجلاند New England وجزيرة برمودا Bermuda . فيما بين الهامش القارى وتيار الخليج يقع نطاق مائى سماه هانتس مان Huntsman (عام ١٩٢٤) نطاق الماء المنحدر Slope Water . ويمتد نطاق الماء المنحدر من رأس هاتيراس Cape Hatteras إلى الشطوط العظمى Grand Banks . وتنشأ فى نطاق الماء المنحدر تيارات مائية مؤقتة ، تنشأ لتزول ، وهى ضعيفة ، وتسير موازية لتيار الخليج ، لكن ليس دائما فى نفس اتجاهه .

وفيما بين الفرع الشمالى الشرقى (تيار الخليج) ، والفرع الجنوبى الشرقى (تيار كناريا) نجد تيار فلوريدا يواصل سيره ويجلب للسواحل البريطانية ، ولبحر الشمال ، ولخليج بسكاى ، وللبحر المتوسط خلال



شكل (٧٣) : بحر سارجاسو Sargasso ، ومياه تيار الخليج ، ونبات سارجاسوم Sargassum يشكل نظام تيار الخليج Gulf Stream الحد الشمالي والغربي لمياه بحر سارجاسو الشهيرة بزرقتها . وقد حدد العالم كروميل Krümmel (فى عام ١٨٩١) هذه الرقعة الأسطورية بأنها تتميز بتوزيع نبات سارجاسوم. وهو نبات بحرى بنى يطفو قرب سطح البحر فى مجموعات صغيرة أو فى هيئة غطاءات فسيحة رقيقة . ويتناثر وجود هذه النبات فى مساحة بيضاوية كبيرة ، تحدها منطقة الضغط المرتفع فيما بين جزر برمودا وأزوريس Bermuda - Azores على وجه التقريب .

مضيق جبل طارق ، مياها دافئة . وتضعف سرعة التيار فى مساره فى شمال المحيط الأطلسى ، إذ يبلغ متوسطها نحو ٨٠٠ متر فى الساعة فى المسافة المحصورة بين الولايات المتحدة والقنال الانجليزى .



شكل (٧٤) : منظر من الجو لتغير حالة البحر التى تحدث كثيراً على الهامش القارى لتيار الخليج . حينما نتقدم نحو هامش (حدّ) تيار الخليج المواجه ليابس قارة امريكا الشمالية ، قد تعبر شريطاً مائيا ضيقا يتسم بالبرودة النسبية وبالماء القليل الملوحة ، قبل أن تزداد فجأة سرعة المياه ، ودرجة حرارتها ، وملوحتها . هذا الشريط الإنتقالى يمكن ملاحظته بواسطة التغير فى لون المياه : من اللون الضارب إلى الزرقة أو الأخضر الرمادى الذى يتميز به نطاق الماء المنحدر ، إلى اللون اللازوردى العميق الذى تتميز به مياه تيار الخليج . وكما سبق أن ذكرنا يحدث تغير فى حالة البحر ، مصحوبا بزيادة فى غطاء السحب .

تيار كناريا :

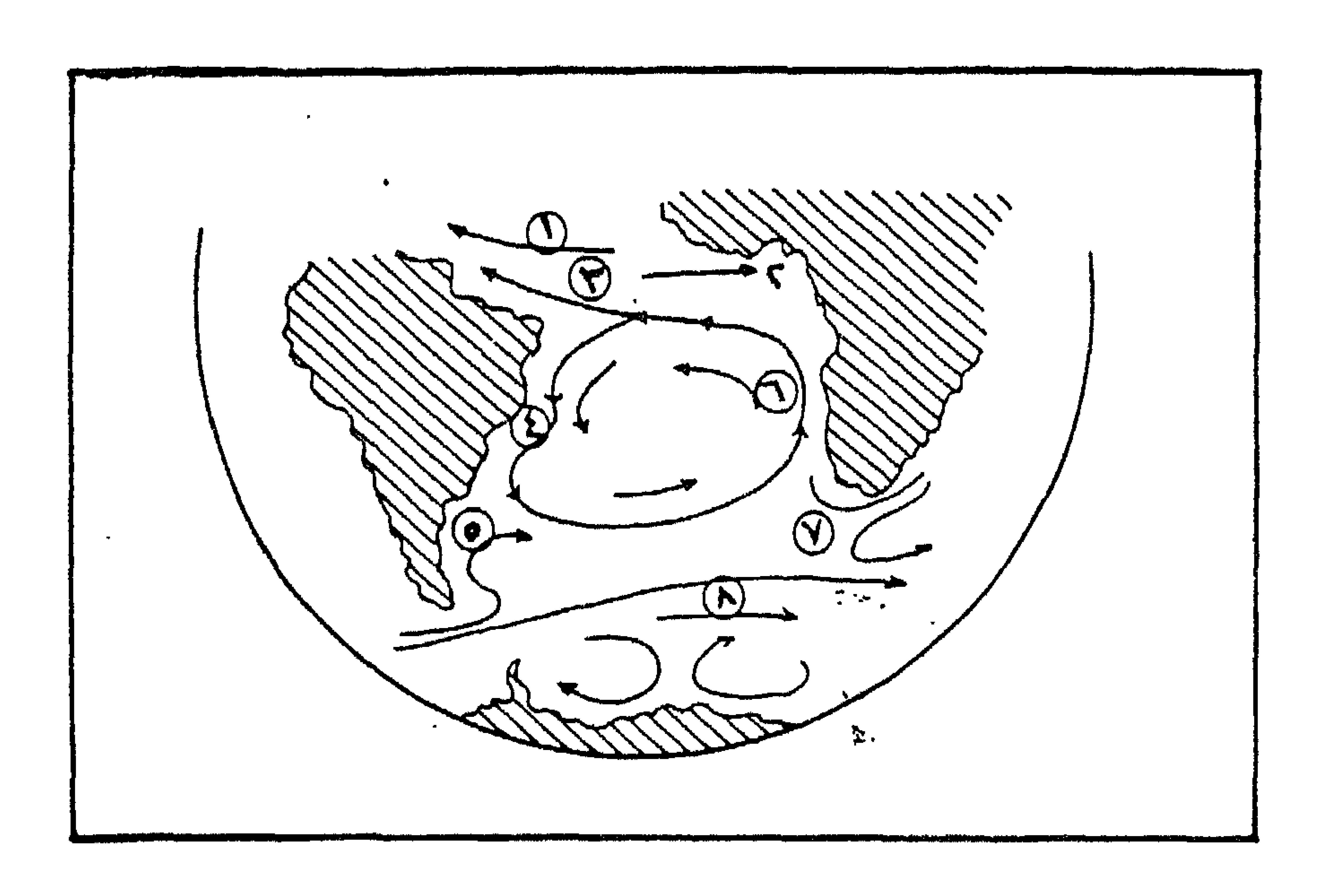
يسير تيار كناريا أو التيار الأفريقى الشمالى بحذاء ساحل أفريقيا الغربى عند الحافة الشرقية لمجال هبوب الرياح التجارية الشمالية الشرقية، فيما بين جزر ماديرا Madaira وكيب فردى Cape Verde . وسرعة هذا التيار معتدلة تتراوح بين ١٥ كيلو متر و ٣٠ كيلو متر فى اليوم ، وهو يحمل مياها من عروض عليا إلى عروض مدارية ، **ومن ثم فهو يعتبر تيارا باردا** . وينضم القسم الأكبر من مياه هذا التيار إلى مياه التيار الإستوائى الشمالى ، بينما يواصل قسم صغير من المياه سيره على طول الساحل الأفريقى فى اتجاه جنوبى شرقى باسم تيار غانا .

ويسمى الفرع الشمالى الشرقى من تيار فلوريدا باسم تيار الخليج أو التيار الأطلسى الشمالى ، كما يدعى أحيانا باسم التيار الأيرلندى . ويصل هذا التيار إلى جزيرة أيسلندا . وإلى الجنوب من سواحلها ينحرف غربا وجنوبا بغرب ويسمى حينئذ بتيار إرمينجر Erminger ، الذى يلتقى بتيار شرق جرينلندا البارد قرب رأس فيرويل Farewell . ويتجه فرع من هذا التيار الأطلسى الشمالى نحو الشمال الشرقى **ويسير بحذاء سواحل النرويج ويجلب لها المياه الدافئة حتى أقصى شمالها .**

وتدفع الرياح العكسية الجنوبية الغربية السائدة مياه تيار فلوريدا الدافئة فى عدة تيارات فرعية : أحدها يتجه نحو الشمال الشرقى ويدخل القنال الإنجليزى ، وعبر مضيق دوفر إلى بحر الشمال ، وفرع أخر يسير إلى الغرب من الجزر البريطانية ويصل إلى سواحل النرويج ، بينما يتجه فرع ثالث إلى سواحل غرب فرنسا وخليج بسكاى .

٣ - تيارات المحيط الأطلسى الجنوبى

يسير تيار البرازيل - وهو فرع من التيار الإستوائى الجنوبى - بحذاء السواحل الشرقية لأمريكا الجنوبية حتى حوالى خط عرض ٤٠ درجة جنوبا ، ثم يغير اتجاهه بتأثير الرياح الغربية السائدة فينحرف نحو



شكل (٧٥) : التيارات البحرية فى جنوب المحيط الأطلسى

١ ـ التيار الإستوائى الشمالى North Equatorial Current

٢ ـ تيار غينيا Guinea Current

٣ ـ التيار الإستوائى الجنوبى South Equatorial Current

٤ ـ تيار البرازيل Brazil Current

٥ ـ تيار فالك لاند Falkland Current

٦ ـ تيار بنجويلا Benguela Current

٧ ـ تيار أجولهاس Agulhas Current

٨ ـ تيار المحيط الجنوبى South Ocean Current

الشـرق ، وينضم إليه تيار كيب هورن Cape Horn الآتى من المحيط الهادى، والذى يتجه نحو الشمال الشرقى فى شرق بتاجونيا ، ثم نحو الشرق ، وينشأ عن التيارين تيار يواصل سيره شرقا يعرف بتيار جنوب الأطلسى.

ويتفرع هذا التيار فى غرب جنوب افريقيا إلى فرعين : فرع يواصل

سيره شرقا إلى جنوب المحيط الهندى ، وفرع آخر يتجه شمالا بحذاء الساحل الغربى لأفريقيا حيث يعرف باسم تيار بنجويلا Benguela البارد، الذى يواصل سيره شمالا حتى يتّصِلْ بالتيار الاستوائى الجنوبى . وبذلك تكتمل دورة التيارات البحرية فى المحيط الأطلسى الجنوبى .

٤ ـ التيارات العميقة فى المحيط الأطلسى

لا يُعرف الكثير عن التيارات البحرية فى المياه العميقة بالمحيطات الكبرى ، وتتوقف الدورة الرأسية للمياه فى المحيط على ثلاثة عوامل رئيسية هى :

(أ) عملية انبثاق أو تصاعد Upwelling المياه العميقة لتحل محل المياه السطحية التى دفعتها الرياح وأزاحتها إلى مكان آخر .

(ب) التباين فى درجة الملوحة بين مختلف طبقات أو مستويات المياه فى المحيط .

(حـ) التباين فى الحرارة الذى يُسبب اختلافا فى كثافة المياه .

وقد سبق لنا أن درسنا تياراً باردا عميقاً يتدفق من القارة القطبية الجنوبية على أعماق فى المحيط الأطلسى تتراوح بين ١٥٠٠ متر و ٢٥٠٠ متر متجها صوب الشمال حتى يصل إلى الدائرة الاستوائية ، بل أمكن اقتفاء أثره حتى خط عرض ٢٠ درجة شمالا ، وتبلغ درجة حرارة مياه هذا التيار نحو ٣ درجة مئوية .

وهناك تيار آخر يتجه من النطاق القطبى الشمالى نحو الجنوب . وتختلط مياه هذا التيار البارد بمياه المحيط الأطلسى عند عمق يتراوح بين ٥٠٠ ـ ٥٥٠ مترا على طول امتداد الحافة الغائصة التى تمتد بين اسكتلندا وجزر فارو وأيسلندا إلى جزيرة جرينلندا .

ولاشك أن تأثير التباين فى كثافة المياه له الأهمية الكبرى . وخير مثال لتحركات المياه بسبب الاختلافات فى الملوحة هو تدفق مياه البحر

المتوسط إلى المحيط الأطلسي الشمالي . فالبحر المتوسط يعتبر من البحار الشبه مقفلة ، كما أنه يقع على حافة المنطقة المدارية ، ومن ثم يشتد التبخر في مياهه . لهذا نجد أن درجة حرارة مياهه ودرجة ملوحته أعلى من مثيلاتهما في المحيط الأطلسي .

وتهبط المياه السطحية الكثيفة في أعماق البحر إلى عمق يتراوح بين ١٠٠٠ ـ ١٤٠٠ متر ، وتتخذ لنفسها مسارا غربيا في الأعماق إلى أن تصل إلى سد مضيق جبل طارق الضحل الذى يبلغ سمك المياه من فوقه نحو ٣٢٠ مترا فقط ، وتتجمع أمامه ثم تنحدر من فوقه متخذة طريقها إلى المحيط الأطلسي ، وفي نفس الوقت يجتاز المضيق تيار سطحي من مياه المحيط الأطلسي إلى البحر المتوسط ، وهي مياه أقل حرارة وأدنى ملوحة من مياه البحر ، ليعوّض المياه التي تدفقت من الأعماق إلى المحيط الأطلسي . وتبلغ سرعة التيار السطحي نحو ٦,٥ كيلو متر في الساعة ، ويبلغ سمك مياهه نحو ١٠٠ متر .

٥ ـ التيارات البحرية في بحار المحيط الأطلسي الشمالي :

يجري تيار **البحر المتوسط** الرئيسي من المحيط الأطلسي عبر م يق جبل طارق ، ثم يسير في اتجاه شرقي على طول سواحل الجزائر وتونس ، ثم ينحرف جنوبا بين جزيرتي صقلية ومالطة ، وبين الساحل التونسي الشرقي إلى خليج سدرا ، ثم يتدفق على طول ساحل ليبيا والسواحل المصرية الشمالية إلى مدينة بورسعيد . ومن ثم يتجه شمالا على طول امتداد الساحل الفلسطيني اللبناني السوري إلى سواحل جنوب تركيا ، حيث ينحرف غربا . ويمر بالساحل الشمالي والجنوبي من جزيرة كريت ، ثم يتجه نحو الشمال الغربي إلى البحر الأيوني ، ثم يسير بحذاء ساحل دالماشيا صوب الشمال في البحر الأدرياتي ، ثم يعود فيتجه نحو الجنوب بحذاء السواحل الإيطالية .

ويسير التيار الرئيسي بعد ذلك في اتجاه شمالي غربي إلى البحر

التيرانى ، ثم غربا خلال خليج جنوه ، ثم يكمل دورته بانحرافه نحو الجنوب الغربى على طول السواحل الاسبانية .

ومن مضيق الدردنيل تتدفق مياه تيار سطحى قليلة الملوحة نسبيا إلى بحر إيجه ، وتتخذ لنفسها مسارا جنوبيا غربيا . وفى هذا المضيق يسير التيار بسرعة كبيرة نسبيا تتراوح بين ٥ كيلو متر و ٨ كيلو متر فى الساعة . ويُعزى هذا التيار إلى الإختلاف فى الكثافة بين مياه بحر مرمرة وبحر إيجة . وبالإضافة إلى هذا التيار السطحى هناك تيار آخر رجعى يسير فى اتجاه مضاد من بحر إيجه إلى بحر مرمرة عبر مضيق الدردنيل على عمق يتراوح بين ١٠ متر و ٣٠ مترا .

وهناك تباين فصلى فى سرعة هذه التيارات وتدفقها بسبب التذبذب فى مستوى سطح مياه البحر الأسود الذى يبلغ قمته فى فصل الربيع . وتبلغ درجة ملوحة التيار السطحى هنا نحو ٢ ٪ ، أما التيار الرجعى السفلى فتبلغ درجة ملوحته نحو ٣,٧ ٪ (وهى ملوحة مياه بحر إيجه)

وتتأثر تيارات البحر الأسود باتجاه الرياح ، وهى تسير عموما فى قسمه الغربى فى اتجاه جنوبى ، ويدخل قسم من مياهها إلى مضيق البسفور ، أما القسم الآخر فيتابع سيره نحو الشرق ثم الشمال فالغرب ليكمل دورته فى اتجاه ضد عقرب الساعة .

وقد سبق أن أشرنا إلى التيارات البحرية فى المياه البريطانية وفى بحر الشمال عند الكلام عن تيار فلوريدا ، ويبقى هنا أن نشير إلى تيار **البحر البلطى** . يخرج هذا التيار من البحر البلطى عبر مضيق كاتيجات Kategat وسكاجر راك Skager Rak إلى بحر الشمال . وهو يختلف فى سرعته ودرجة تدفقه من فصل لآخر ، ويبلغ أقصاه فى فصل الربيع حينما تتدفق المياه العذبة إليه من الأراضى التى تحيط به . ويضعف التيار فى فصل الخريف ، وفى فصل الشتاء يكاد ينعدم . ويتوقف تيار بحر البلطيق إلى حد كبير على الرياح ، وأيضا على زيادة أو قلة المياه العذبة التى ترد إلى البحر من اليابس المطل عليه . ففى فصل الربيع يسود التيار

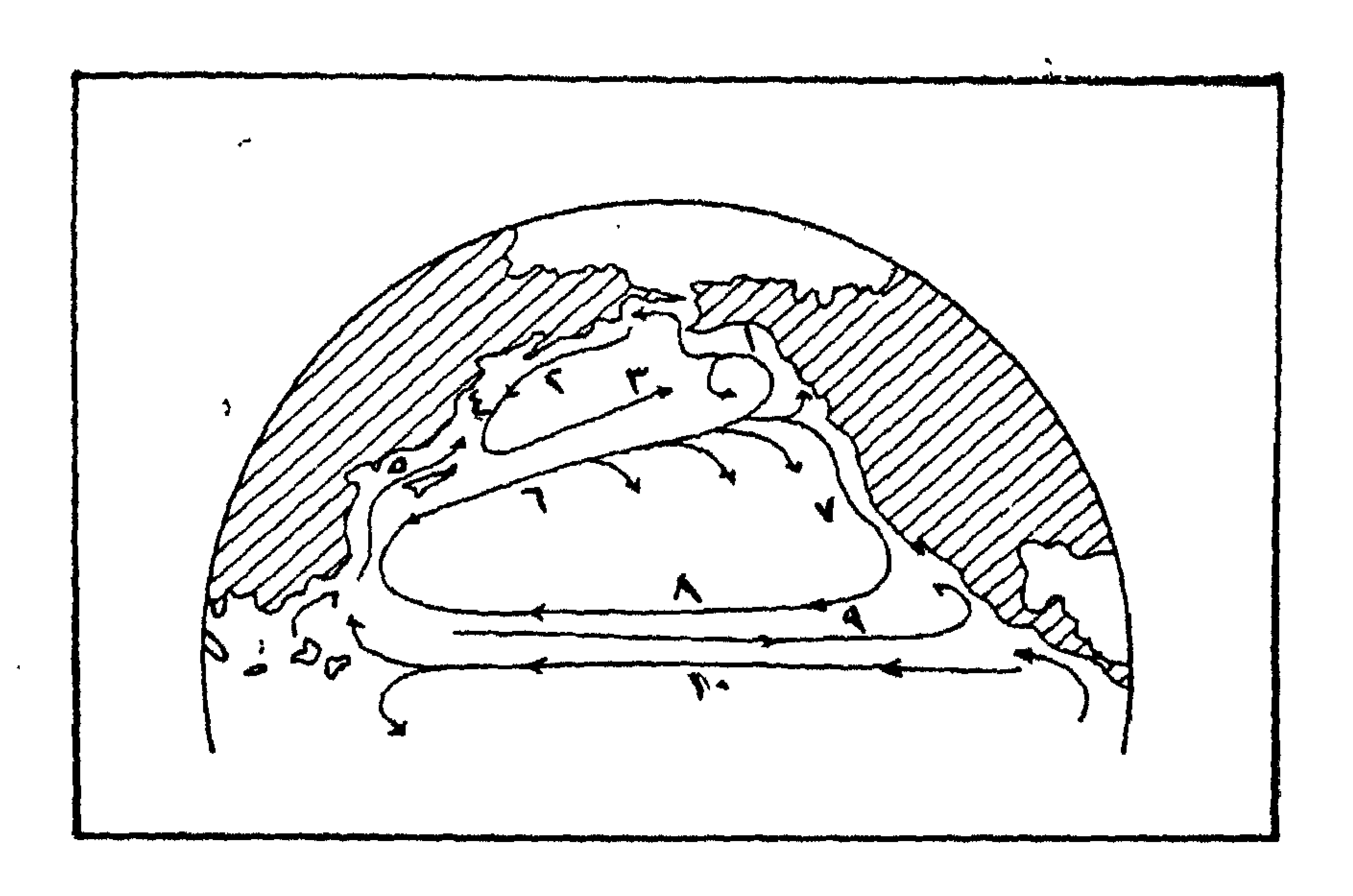
الذى يخرج من البحر متجها نحو الغرب ، ويرجع ذلك كما قلنا إلى تدفق المياه إليه كما أن اتجاه الرياح السائدة حينئذ يكون من الشرق إلى الغرب . أما فى فصل الصيف فيضعف التيار نوعا ، وذلك بسبب سيادة الرياح الغربية حينئذ ، ومع هذا تتدفق مياهه ضد اتجاه الرياح .

أما المحيط المتجمد الشمالى فنجده يتأثر بتيار الخليج . إذ تتدفق مياه الفرع الشمالى الشرقى من تيار فلوريدا فيما بين جزر فارو وشيتلاند إلى سواحل النرويج ، ثم تسير بحذاء الساحل إلى الرأس الشمالى ، وهناك تنتشر مياه التيار فى عدة فروع بشكل مروحة ، ويجرى الفرع الجنوبى على طول الساحل الشمالى لأوروبا . ويعرف باسم تيار الرّأس الشمالى ، بينما يتدفق فرع آخر إلى جزيرة سبتس بيرجين Spitzbergen ، وقد أمكن اقتفاء أثره حتى خط عرض ٨٠ درجة شمالا وخط طول ١٠ درجة شرقا .

التيارات المائية فى المحيط الهادى

لا تختلف التيارات المائية فى المحيط الهادى فى نظامها العام عن التيارات فى المحيط الأطلسى ، فهنا أيضا نجد تيارين استوائيين أحدهما شمالى والآخر جنوبى ، وبينهما تيار رجعى ، وهو تيار « تعويض » يشبه مثيله فى المحيط الأطلسى ، إذ يرتد قسم من مياه التيارين الإستوائيين الشمالى والجنوبى ، ويسير صوب الشرق بينهما إلى أن يصل إلى سواحل أمريكا الوسطى .

أما التيار الإستوائى الشمالى فيسير غربا مدفوعا بالرياح التجارية الشمالية الشرقية السائدة ، من سواحل المكسيك حتى جزر الفيلبين ، ويقطع فى مسيره مسافة شاسعة تصل إلى نحو ١٤٠٠٠ كيلو متر . وحدود هذا التيار الجنوبية تقع عند حوالى خط عرض ١٠ درجة شمالا فى فصل الصيف ، وعند خط عرض ٥ درجة شمالا فى فصل الشتاء . وسرعة التيار بطيئة تتراوح بين ٢٠ و ٣٠ كيلو مترا فى اليوم .



شكل (٧٦) : التيارات البحرية فى المحيط الهادى الشمالى . وفى بحاره الجانبية المحيطة .

١ ـ تيار الاسكا Alaska Current

٢ ـ تيار كامشاتكا Kamschatka Current

٣ ـ تيار الوشيان Aleutian Current

٤ ـ تيار أوياسيفو (اوياشيو) Oya Siwo (or Oya Shio) Current

٥ ـ تيار تسوشيما Tsushima Current

٦ ـ تيار كيروسيفو (كورشيو) Kuro Siwo (or Kuro Shio) Current

٧ ـ تيار كاليفورنيا California Current

٨ ـ التيار الاستوائى الشمالى North Equatorial Current

٩ ـ التيار الاستوائى الرجعى Equatorial Counter Current

١٠ ـ التيار الاستوائى الجنوبى South Equatorial Current

وحينما يصل هذا التيار إلى السواحل الآسيوية يتجه شمالا عند الطرف الشمالى لجزيرة لوزون Luson (من جزر الفيلبين) ، ويمر بالسواحل الشرقية من جزيرة فرموزا حيث يصل عرضه إلى نحو ١٦٠ كيلومترا ، ويتخذ عندئذ لنفسه مسارا شماليا شرقيا ، ويسير بحذاء الساحل الشرقى لجزر لوشو Luchu ، ومنها إلى سواحل اليابان حيث

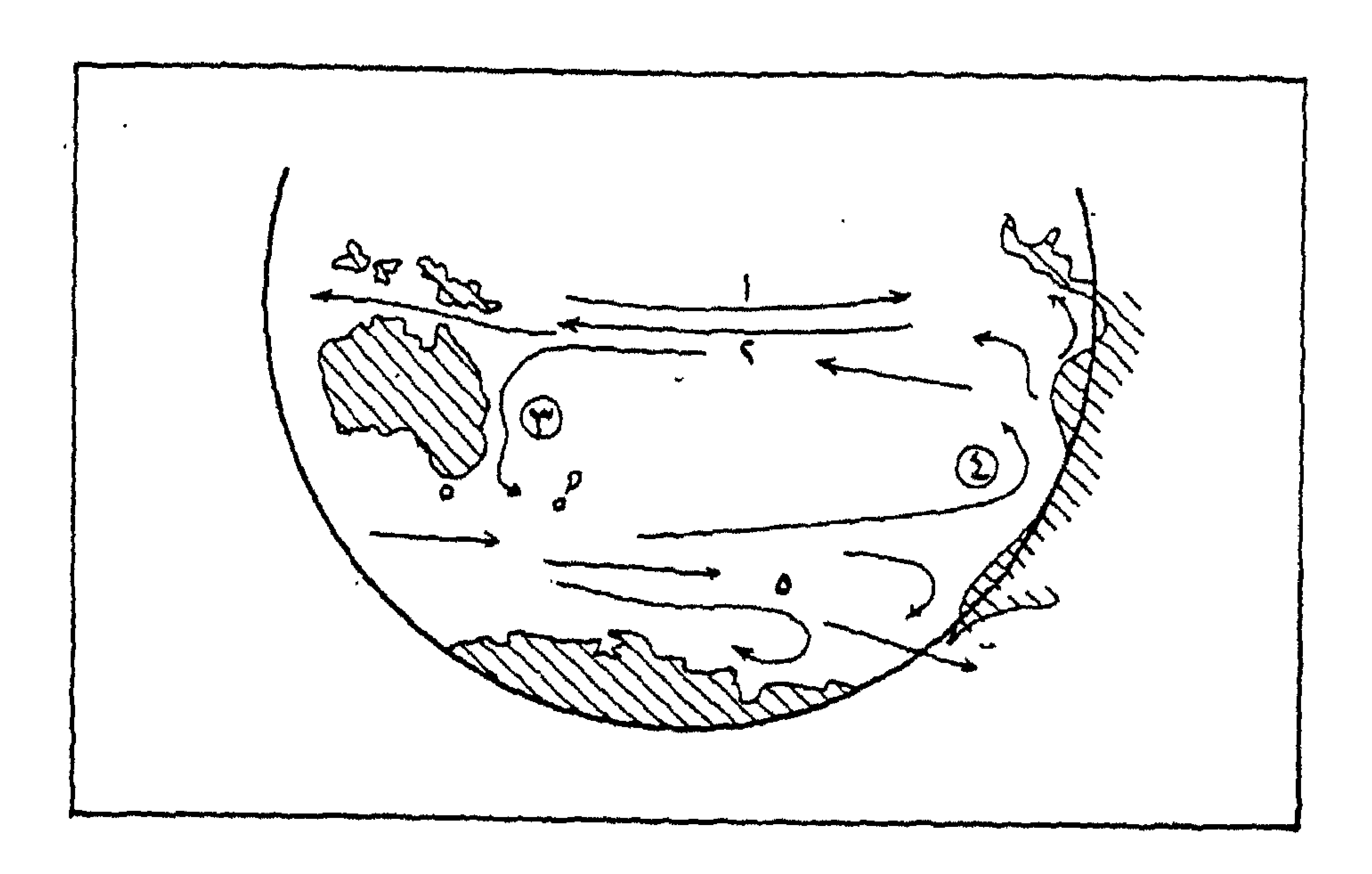
يعرف بتيار **كيروسيفو** Kuro Siwo ، أو **التيار الأزرق المالح** ، وبعد جزر اليابان ينحرف التيار شرقا مدفوعا بالرياح الغربية السائدة حيث يعرف أيضا بتيار **الهادى الشمالى** .

وحينما يصطدم التيار بسواحل غرب أمريكا الشمالية ينقسم إلى فرعين : أحدهما يجرى شمالا والآخر يتجه جنوبا . أما الفرع الشمالى فيصل إلى مياه الاسكا كتيار دافئ . أما التيار الجنوبى فيعرف باسم **تيار كاليفورنيا** ، الذى يواصل سيره حتى يلتقى بمياه التيار الاستوائى الشمالى ، وبذلك تكمل دورة التيارات المائية فى شمال المحيط الهادى .

ويشبه **التيار الاستوائى الجنوبى** مثيله فى المحيط الأطلسى ، وهو يصل إلى أقصى عنفوانه فى شمال خط الاستواء مباشرة . وهذا التيار أقوى وأسرع من التيار الشمالى ، إذ يبلغ متوسط سرعته نحو ٣٥ كيلومترا فى اليوم . ويدخل فرع منه إلى مضيق تورس Torres (بين استراليا وغانة الجديدة) . أما فرعه الرئيسى فينحرف جنوبا ويسير باسم تيار استراليا الشرقى الدافئ على طول الساحل الشرقى لاستراليا .

وعند حوالى خط عرض ٤٠ درجة جنوبا ينحرف شرقا بتأثير الرياح الغربية السائدة ، ويختلط بمياه **تيار بارد يعرف بتيار جنوب المحيط الهادى الذى يتجه شرقا من جزيرة تسمانيا حتى ساحل أمريكا الجنوبية** . ويسير هذا التيار الأخير إلى الجنوب من تسمانيا ونيوزيلندا على طول خط عرض ٥٠ درجة جنوبا تقريبا ، وهو يمثل امتداداً لتيار المحيط الهندى الجنوبى نحو الشرق .

وحينما يصل تيار جنوب الهادى إلى الساحل الأمريكى عند حوالى خط عرض ٤٥ درجة جنوبا ينشطر إلى فرعين : فرع منهما يتجه جنوبا ويمر حول كيب هورن حيث يعرف **بتيار كيب هورن** ، الذى يجرى نحو الشرق ثم الشمال الشرقى ، ويواصل سيره إلى المحيط الأطلسى باسم **تيار فالك لاند Falkland** .



شكل (٧٧) : التيارات البحرية فى المحيط الهادى الجنوبى .

١ ـ التيار الاستوائى الرجعى Equatorial Counter Current

٢ ـ التيار الاستوائى الجنوبى South Equatorial Current

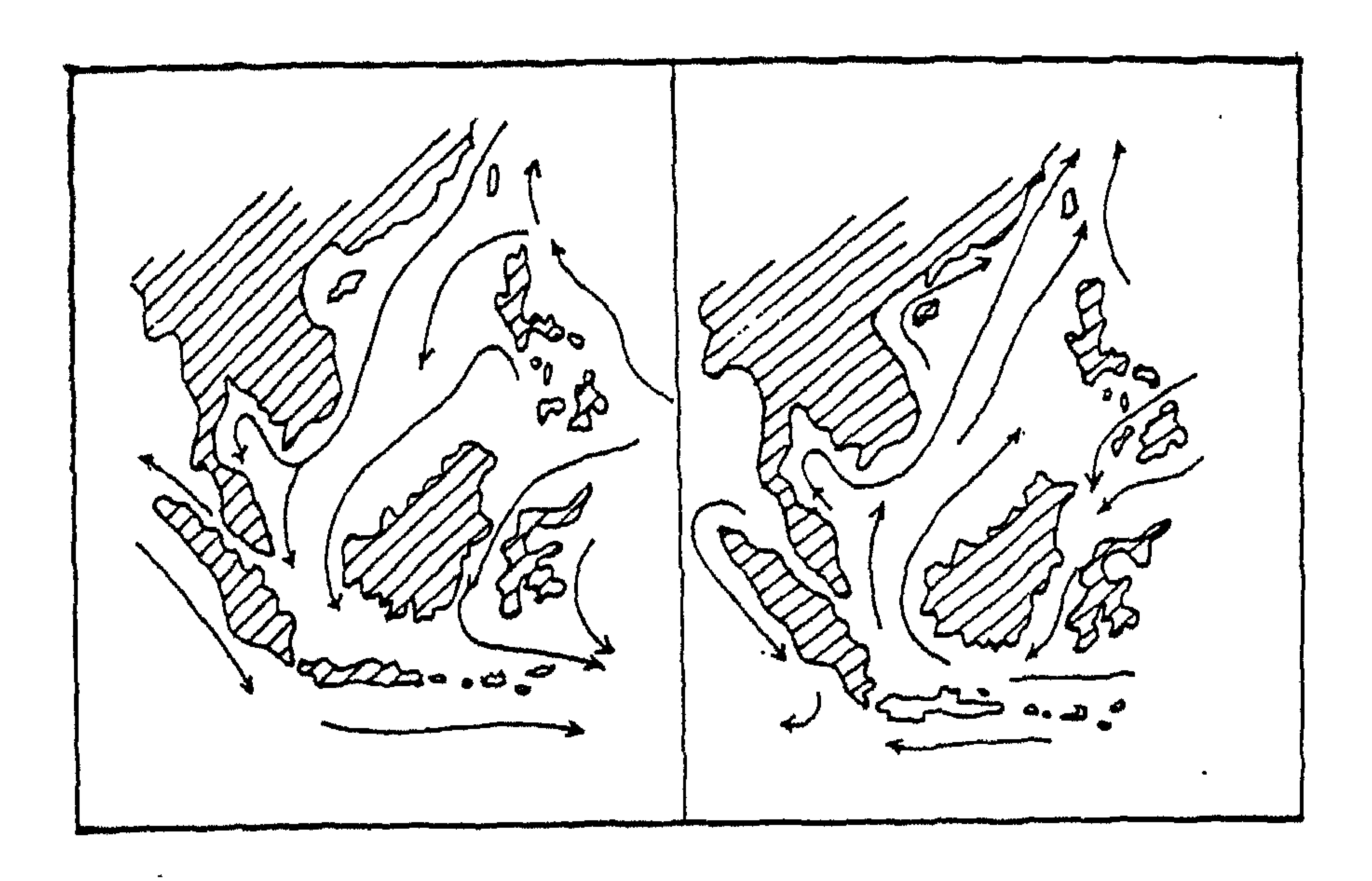
٣ ـ تيار شرق أستراليا East Australian Current

٤ ـ تيار بيرو أوتيار همبولت Peru or Humboldt Current

٥ ـ تيار المحيط الجنوبى . حينما يقترب هذا التيار من أمريكا الجنوبية فى مشارف دائرة العرض ٤٥ جنوباً ، فإنه يتفرع : فرع يتجه جنوباً لكى يعبرها من خلال مضيق دريك Drake ، ويصل إلى المحيط الأطلسى ، ويجرى الفرع الثانى شمالا لكى يتحد مع تيار همبولت Humboldt أو تيار بيرو . والتيار عريض جداً ، إذ يصل إتساعه من اليابس صوب البحر زهاء ٥٠٠ كيلو متر .

أما الفرع الثانى فيسير شمالا باسم **تيار بيرو أو تيار همبولت** **Humboldt** ، وهو تيار بارد وضعيف . وعند خط عرض ٥ درجة جنوبا يترك الساحل الأمريكى ، ويسير فى اتجاه شمالى غربى لينضم للتيار الإستوائى الجنوبى .

ومن بحر بيرنج Behring يخرج تيار بارد يتجه من الشمال الشرقى نحو الجنوب الغربى بحذاء سواحل شبه جزيرة كمتشاتكا وجزر كوريل إلى جزر اليابان ، ويدعى هذا التيار باسم **أوياسيفو** **Oya Siwo** .



شكل (٧٨) : التيارات البحرية فى بحار الصين وإندونيسيا .

الخريطة اليُمْنَى : أثناء فصل هبوب الرياح الموسمية الجنوبية الغربيّة

الخريطة اليسرى : أثناء فصل هبوب الرياح الموسمية الشمالية الشرقية .

- يظهر التيار الشمالى الشرقى أثناء شهر سبتمبر الذى يمثل فترة إنتقالية

- بحلول شهر أكتوبر يختفى التيار السابق ، ويظهر ثم يسود التيار الجنوبى الغربى (مع هبوب الرياح الموسمية الجنوبية الغربية) فى كل المنطقة .

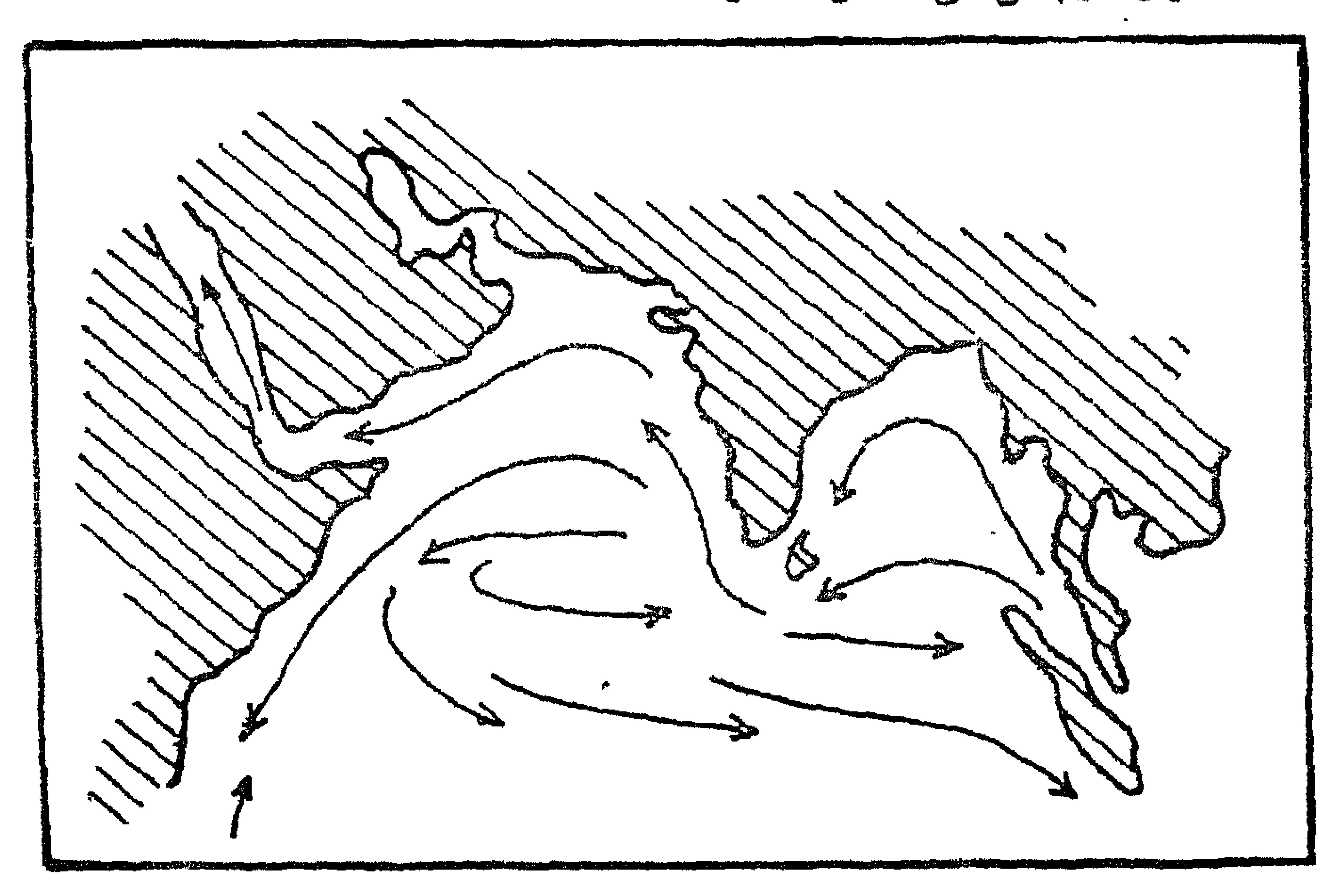
- يعتبر شهر أبريل هو الآخر فترة إنتقالية ، فيها ما يزال التيار الجنوبى الغربى موجودا .

- بحلول شهر مايو يعود التيار الشمالى الشرقى إلى الظهور (مع هبوب الرياح الموسمية الشمالية الشرقية) ويسود المنطقة .

تيارات المحيط الهندى

تختلف تيارات المحيط الهندى عن تيارات المحيطين الأطلسى والهادى فى أنها تتغير باختلاف الفصول . ويظهر هذا التغير بصفة خاصة فى القسم الشمالى من المحيط فيما بين خط الاستواء والسواحل الجنوبية لقارة آسيا ، وذلك بسبب اختلاف نظام الرياح الموسمية التى تهب من الشمال الشرقى فى فصل الشتاء ومن الجنوب الغربى فى فصل الصيف.

ففى القسم الشمالى من المحيط أى البحر العربى وفى خليج بنغال ، تجرى التيارات مع الرياح السائدة . ففى **فصل الشتاء** هناك تيار يسير من الشرق إلى الغرب يشبه التيار الإستوائى الشمالى فى المحيط الأطلسى وتتدفق مياهه من جزر أندمان Andamans فى الشرق إلى ساحل الصومال فى الغرب ، تدفعها الرياح الموسمية الشرقية . وحينما يصل هذا التيار إلى الساحل الأفريقى ينحرف جنوبا ويعبر خط الإستواء ، ثم ينحرف شرقا كتيار رجعى يجرى بين خطى عرض ٢ درجة و ٥ درجة جنوبا ، ويختفى هذا التيار الرجعى فى فصل الصيف .



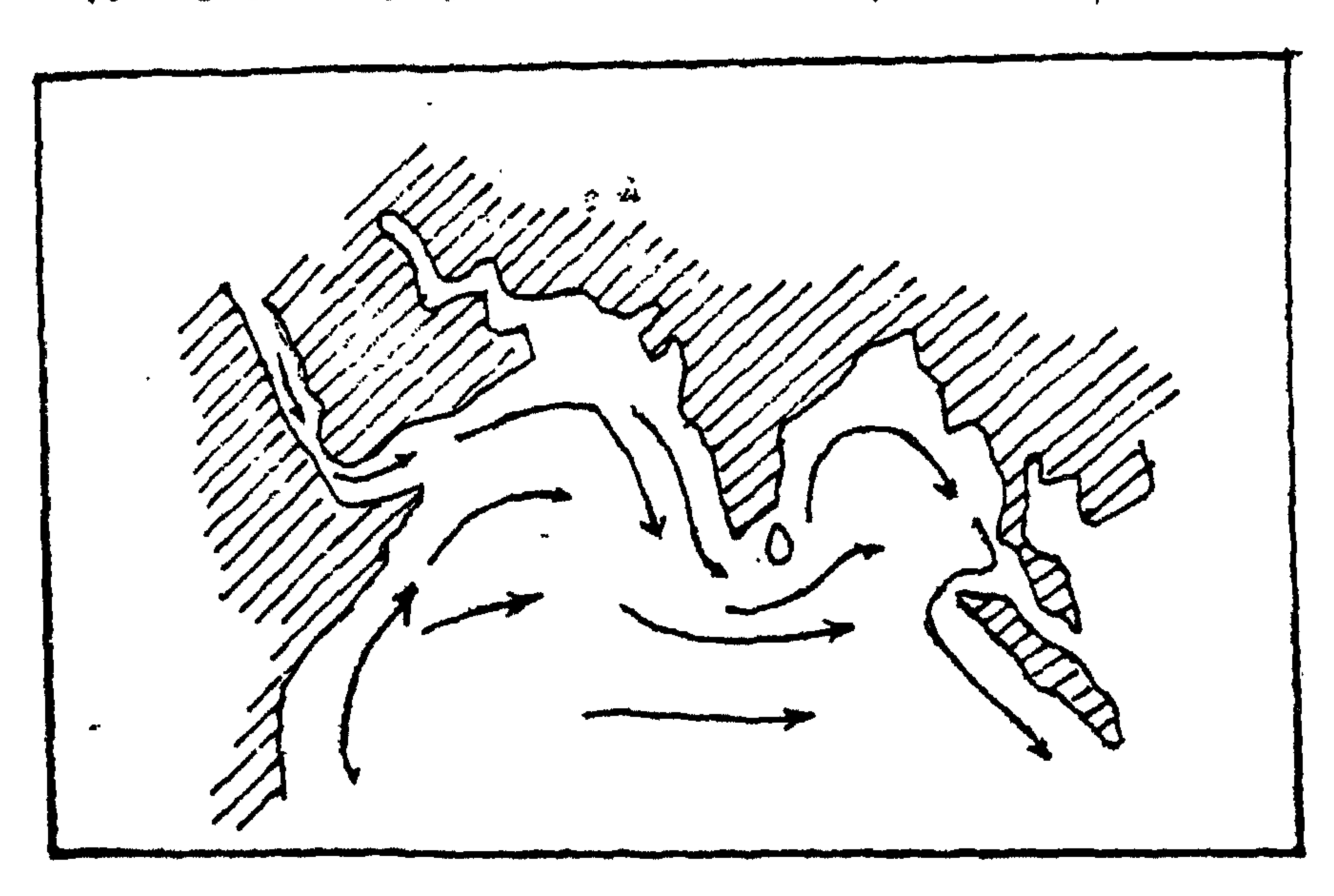
شكل (٧٩) : التيارات البحرية فى المحيط الهندى الشمالى أثناء هبوب الرياح الموسمية الشمالية الشرقية.

يسود هبوب الرياح الموسمية الشمالية الشرقية من شهر نوفمبر إلى شهر أبريل كل عام . وفى أثناء هذه الفترة تجرى التيارات البحرية فى كل من خليج بنغال والبحر العربى ضد دوران عقارب الساعة حول السواحل . لكن جريانها إلى الجنوب من دائرة عرض جزيرة سيلان (سيريلانكا) يكون صوب الغرب .

وحينما تصطدم هذه التيارات بالساحل الشرقى لأفريقيا ، فإن التيار الغربى منها ينحرف صوب الجنوب كى يشكل تيار « ساحل شرق أفريقيا » الذى يترك الساحل فى مشارف دائرة الإستواء ، منحرفا صوب الشرق كى يشكل « التيار الاستوائى الرجعى » .

وهناك تيار استوائى جنوبى يسير شتاء من الشرق إلى الغرب فيما بين خطى عرض ١٠ درجة و ٢٧ درجة جنوبا ، أما فى الصيف فيتقدم مجال مساره شمالا حتى خط عرض ٥ درجة جنوبا .

وفى **فصل الصيف** حين تهب الرياح الموسمية الجنوبية الغربية تنعكس دورة التيارات فى شمال المحيط الهندى ، إذ تدفع هذه الرياح المياه أمامها نحو الشرق على طول السواحل الجنوبية لآسيا فى تيار ما يلبث أن ينحرف نحو الجنوب عند اصطدامه بالسواحل الغربية للهند الصينية والملايو . ثم نحو الغرب فيما بين خط الاستواء وخط عرض ٥ درجة

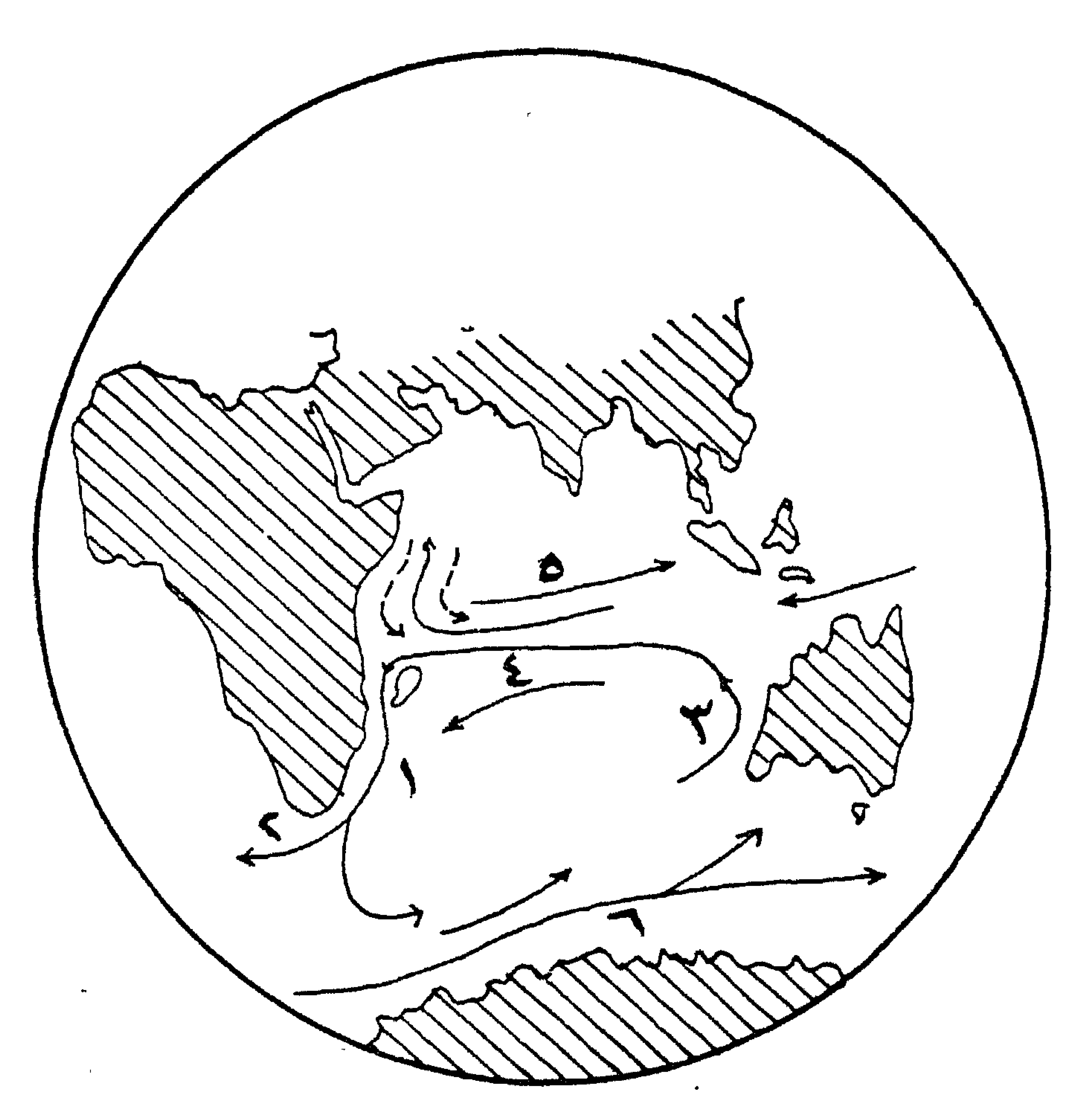


شكل (٨٠) : التيارات البحرية فى المحيط الهندى الشمالى أثناء هبوب الرياح الموسمية الجنوبية الغربية.

فى أثناء هبوب الرياح الموسمية الجنوبية الغربية ، من شهر مايو حتى شهر سبتمبر ، تقوى دورة التيارات البحرية الساحلية إلى الشرق وإلى الغرب من شبه جزيرة الهند .

وفى هذه الفترة يجرى تيار « ساحل شرق أفريقيا » صوب الشمال ، ويتفرع إلى الجنوب من سوكوترا ، Socotra إلى فرعين : فرع يواصل سيره شمالا إلى غرب سوكوترا ، والثانى ينحرف شرقا لكى يكون بداية التيار الإستوائى الرجعى .

والتيار إلى الجنوب من سوكوترا يكون سريعا فى العادة أثناء سيادة هبوب الرياح الموسمية الجنوبية الغربية . وقد سجلت له سرعات وصلت إلى ست عقد فى الساعة (أى نحو ١١ كيلو مترا) .



شكل (٨١) : التيارات البحرية فى المحيط الهندى الجنوبى .

دورة التيارات البحرية السطحية فى المحيط الهندى تتخذ فى معظمها نظام ضد دوران عقارب الساعة . وهى فى ذلك تماثل دورة التيارات البحرية السطحية فى كل من المحيط الأطلسى الجنوبى والمحيط الهادى الجنوبى ، ولكنها تتعرض لتنوع وتغير أكبر من نظائرها فى المحيطين المذكورين .

١ ـ تيار موزبيق Mozambique

٢ ـ تيار أجيولهاس Aguilhas Current

(هو امتداد لتيار موزبيق ، يلف حول جنوب أفريقيا ، ويدخل جنوب المحيط الأطلسى حيث يتحد مع تيار بنجويلا)

٣ ـ تيار غرب استراليا West Australian Current

٤ ـ التيار الإستوائى Equatorial Current

٥ ـ التيار الإستوائى الرجعى Equatorial Counter Current

٦ ـ تيار المحيط الجنوبى Southern Ocean Current

جنوبا إلى أن يصل إلى السواحل الأفريقية . واتجاه دفع المياه فى هذا الفصل من السنة صوب الشرق له أثره فى مياه البحر الأحمر ، كما تتدفق المياه من البحر الأحمر عبر مضيق باب المندب إلى البحر العربى .

ويسير التيار الإستوائى الجنوبى فى المحيط الهندى كما ذكرنا ـ صيفا وشتاء ـ صوب الغرب ، وحين يصطدم بسواحل جزيرة مدغشقر ينحرف جنوبا ويسير بحذاء الساحل ، ويُعرف حينئذ بتيار موزبيق الدافئ. وإلى الجنوب من خط عرض ٣٠ درجة جنوبا يُسمى هذا التيار باسم تيار أجولهاس Agulhas ، الذى ينحرف شرقا حين يدخل فى مجال هبوب الرياح الغربية ، وتختلط مياهه بمياه التيار الغربى العام فى جنوب المحيطات (تيار جنوب الهادى ثم الأطلسى) ، ومن ثم تحدث تغيرات فى حرارة المياه السطحية . ويتصل التيار أخيرا بتيار غرب أستراليا الذى يشبه تيار بنجويلا فى غرب أفريقيا .

إيجابيات التيارات البحرية وسلبياتها

التيارات المائية البحرية مياه تسير فى مياه . وقد وجدنا من خلال دراستها ، أنها تجرى فى اتجاهات مختلفة ، لكنها محدودة ومعلومة ، وتقوم بدفعها وتوجيهها عوامل متعددة . ومن هذه التيارات ما هو سطحى، وما هو عميق ، ومنها مايتخذ لنفسه مسارات وسطى . ومن التيارات ماهو حار أو دافئ ، ومنها ماهو بارد . والتيارات الدافئة تعمل دائما على تدفئة سواحل اليابس الذى تمر به ، أما الباردة فتُخَفِّض من حرارتها . وقد ترتب على ذلك اختلاف درجات الحرارة على جانبى كل محيط ، أو على جانبى كل قارة . ويكفى أن نذكر تأثير تيار الخليج الدافئ فى رفع حرارة غرب أوربا ، حتى أقصى شمال النرويج حيث يبقى ميناء الرأس الشمالى North Cape مفتوحا لاستقبال السفن حتي فى الشتاء ، بينما موانى كندا وشمال شرق الولايات المتحدة الأمريكية ، يغلقها الجليد، كما تتجمد مياه نهر السنت لورانس والبحيرات العظمى وهى جميعا تقع فى عروض البحر المتوسط .

ولعل تقابل التيارات الدافئة بالباردة له إيجابيات تفوق سلبياته ، فهناك تكثر المواد المغذية ، وتصبح البيئة البحرية مناسبة للصيد الوفير . وإن إنتقال المياه من مكان لآخر فيه تجديد وإثراء على امتداد مساراتها للمحتوى الحيوى . كما أن عمليات التقليب والانبثاق Upwelling فى مياه المحيط العالمى هى الأخرى مهمة لتجديد المحتوى الغازى والمغذيات لمخلوقات الله التى تسكن القاع ومافوقه من مستويات مائية .

ورغم كثرة إيجابيات التيارات المائية البحرية ، التى لولاها لأضحى المحيط العالمى بحيرة راكدة آسنة لاحياة فيها ، فإن السلبية الوحيدة المهمة، التى نعتبرها « كارثة » طبيعية ، تتمثل فى عدد من التيارات المائية الباردة ، التى تمرُّ بموازاة أجزاء من سواحل بعض القارات ، فتحرمها من سقوط الأمطار ، فيعمها الجفاف ، كصحراء شمال أفريقيا ، وجنوب غربها ، وصحراء بيرو وشيلى ، وصحراء كاليفورنيا .

الفصل التاسع

قاع المحيط

تضاريسه وقوى ماتحت القاع وكوارثها

تضاريس الرف القارى والمنحدر القارى

لقد شهد هذا القرن مولد فرع جديد من أفرع علم الجيولوجيا هو معروف باسم جيولوجية قيعان البحار Submarine geology . على الرغم من حداثة هذا الفرع ، إلا أنه قد تقدم بسرعة ، وأحرز الكثير من النتائج التي غيرت الكثير من الأفكار القديمة الخاصة بطبوغرافية قيعان البحار والمحيطات . فلقد أثبتت الدراسات الحديثة خطأ الإعتقاد القديم بأن قيعان البحار والمحيطات تمتد فى هيئة سهول متسقة قليلة التضرس .

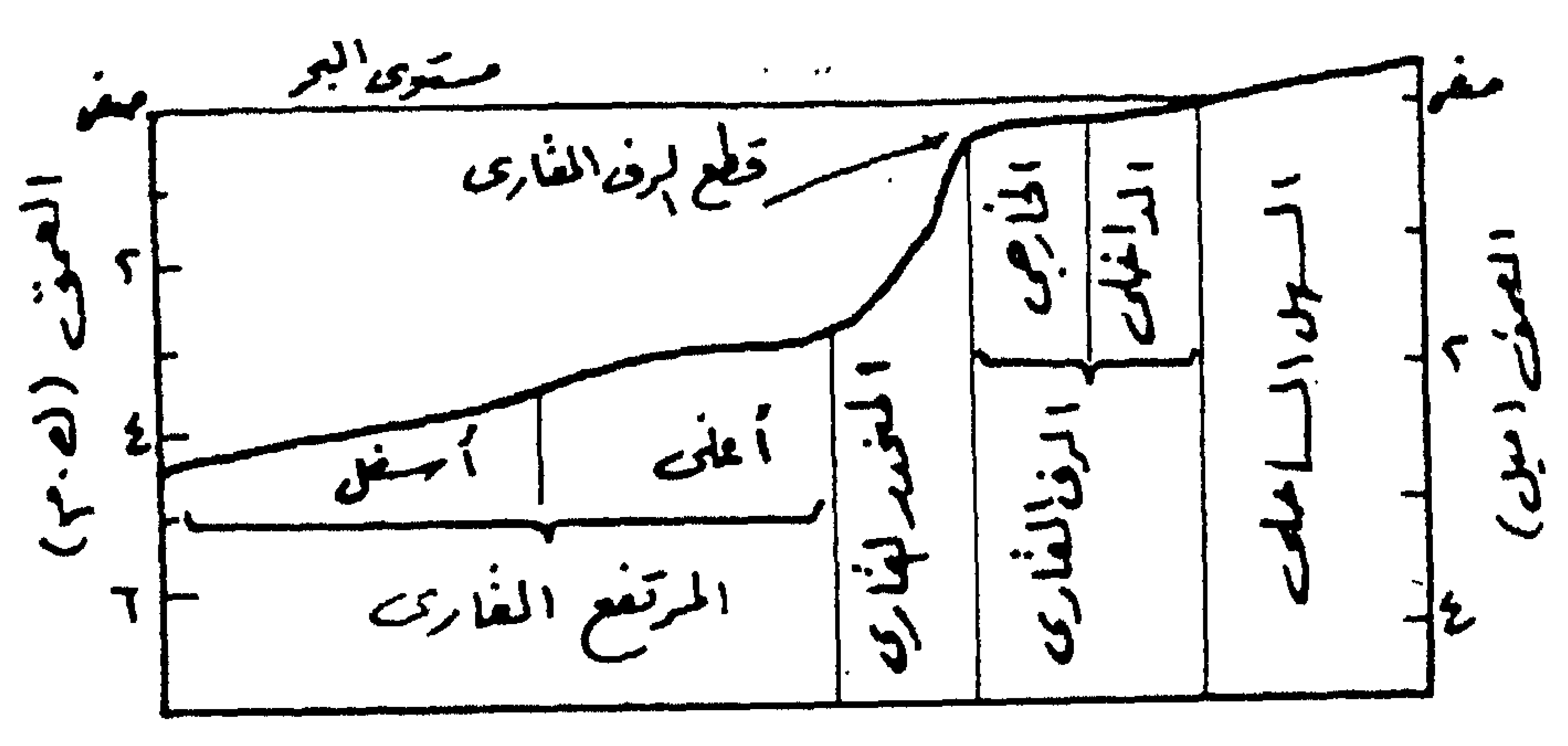
ولقد ازدادت العناية بدراسة قيعان البحار منذ أن اتجهت الأنظار إلى البحث عن مصادر للبترول تحت مياه البحر ، خاصة فى مناطق الأرصفة القارية .

وقد تمكن العلماء من ابتكار أدوات مختلفة للحصول على عينات من تكوينات قيعان البحار ، منها الكباشات ، وأهمها وأفضلها بريمة الأعماق . كما أصبح فى الإمكان تقدير سمك الرواسب على القاع

الأقاليم الفزيوغرافية للقيعان المحيطية

المحيط (ومعه بحاره)	الرف القارى والمنحدر القارى (٪)	المرتفع القارى (٪)	الحوض المحيطى (٪)	البراكين والحافات البركانية (٪)	المرتفعات والحافات المحيطية (٪)	الخنادق (٪)
الهادى	١٣,١	٢,٧	٤٣,٠	٢,٥	٣٥,٩	٢,٩
الأطلسى	١٩,٤	٨,٥	٣٨,٠	٢,١	٣١,٢	٠,٧
الهندى	٩,١	٥,٧	٤٩,٢	٥,٤	٣٠,٢	٠,٣
المحيطات (جملة)	١٥,٣	٥,٣	٤١,٨	٣,١	٣٢,٧	١,٧
سطح الكرة الأرضية	١٠,٨	٣,٧	٢٩,٥	٢,٢	٢٣,١	١,٢

باستخدام الأصوات التي يحدثها تفجير قنبلة في القاع ، وارتداد صداها من مختلف الطبقات . وهي طريقة تماثل الطرق السيسمولوجية التي تُستخدم في البحث عن الطبقات الحاملة للبترول .



شكل (٨٢) : الرصيف القارى

حينما نترك السهل الساحلي ونتجه صوب البحر ، نصادف أول ما نصادف ما يسمى الرف القارى Continental Shelf الذى يبلغ اتساعه في المتوسط ٦٥ كيلو مترا (٤٠ ميل) ، ويحيط بالكتل القارية . وينحدر الرف القارى الضحل ، الذى لايزيد عمقه عادة على ١٣٠ مترا ، إنحدار سهلا هينا صوب البحر ، وتماثل طبيعة قاعه الطبوغرافية اليابس المتاخم في الأغلب الأعم . فإذا كان النطاق الساحلي المتاخم وعرا، كان قاع الرف القارى مضرسا مثله .

وتعبر الرّف القارى ، فيزداد العمق لتصل إلى المنحدر القارى Continetal Slope . والحد بينهما تمثله نقطة عندها يزداد الإنحدار كثيراً ، ويسمونها قطع الرف القارى Continetal Shelf Break عادة يقع عند عمق حول ١٣٠ مترا . ومع هذا فإن قطع الرف القارى حول قارة انتاركتيكا يقع على عمق ٥٠٠ متر.

ويحدد حضيض المنحدر القارى على عمق حوالى ٢٠٠٠ متر هوامش الكتل القارية . ويطلق على الرف القارى والمنحدر القارى كليهما تعبير الرصيف القارى Continental Platform or Terrace أو Continental Margen ، وهما ، من الوجهة التركيبية البنوية ، جزء من الكتل القارية . وتبلغ مساحة الكتل القارية ، وما يتبعها من أرصفة قارية مغمورة بمياه البحر نحو ٤٠٪ من مساحة الكرة الأرضية .

وينشأ المرتفع القارى Continental Rise من اتحاد عدد من المآزر Aprons أو المخاريط الرسوبية الموجودة عند نهايات الخوانق البحرية Submarine Canyons . تلك الرواسب ذات أصل قارى ، تحملها التيارات العكرة Turbidity Currents ، وترسبها عند حضيض المنحدر القارى .

خصائص الرف القارى والمنحدر القارى

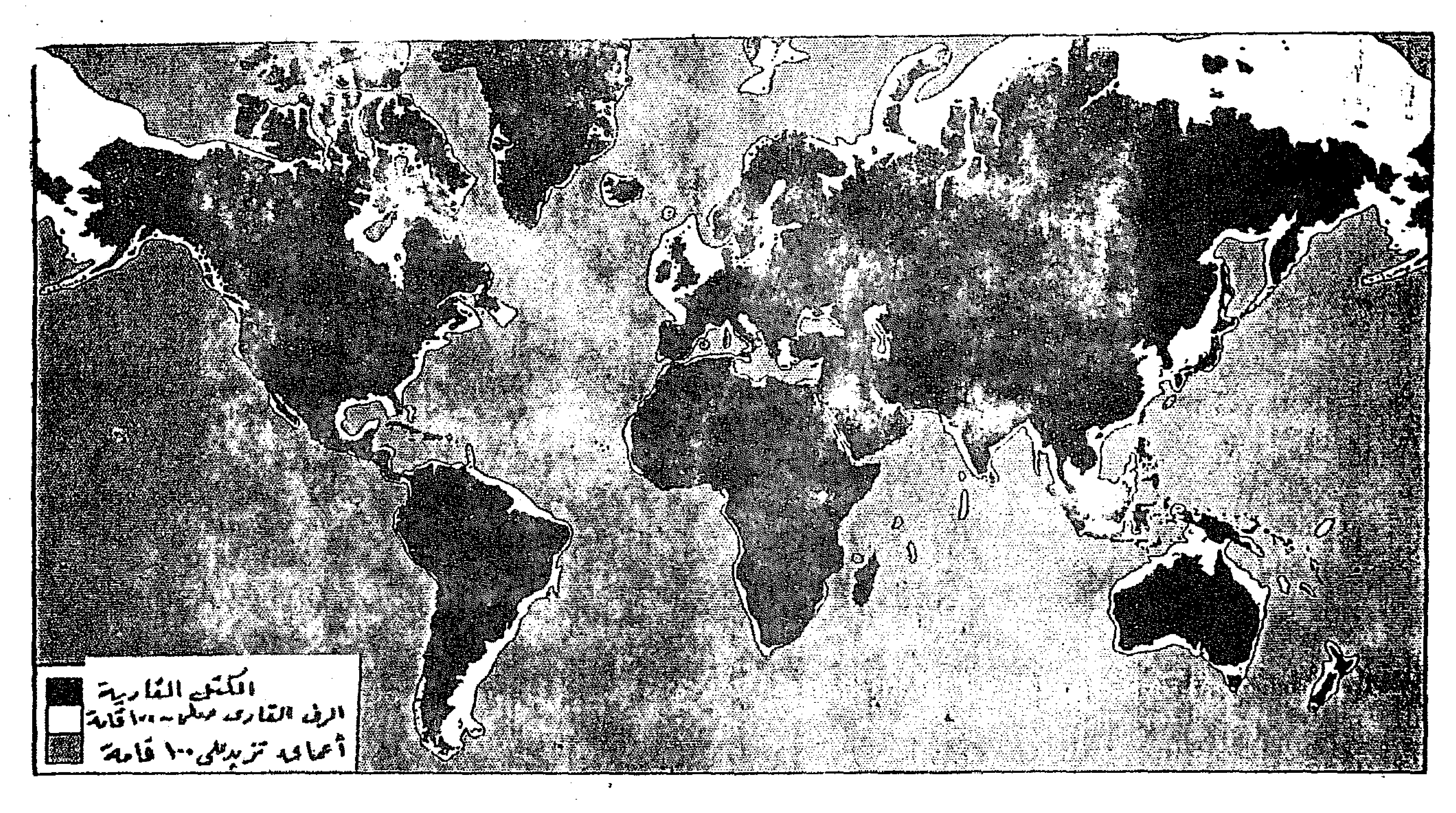
يطلق تعبير الرصيف القارى Continental Terrace على القسم من قاع البحر أو المحيط المتاخم لليابس ، والذى ينحصر بينه وبين القاع العميق . ويتكون هذا الرصيف من قسمين : أحدهما هو مسطح الرصيف نفسه ، ويُسمى بالرف القارى Continental Shelf ، والآخر يمثل منطقة الهبوط من الرف القارى إلى القاع العميق ويسمى بالمنحدر القارى Continental Slope .

الرف القارى

وهو النطاق الضحل من قاع البحر أو المحيط الذى يتاخم الكتل القارية . ويتباين فى مدى اتساعه ، فقد يتضاءل إلى الصفر ، وحينئذ يشرف الساحل مباشرة على القاع العميق ، وينعدم فى هذه الحالة وجود الرف القارى، كما هو الحال فى بعض السواحل الغربية لأمريكا الجنوبية. وقد يتسع فيصل عرضه إلى نحو ١٢٠٠ كيلو متر (٧٥٠ ميل)، كما هو الحال فى الرف القارى المتاخم لجنوب كوريا فى البحر الأصفر ، وأيضا فى بحر بارينت Barent ، إلى الشمال من السواحل الأوربية الشمالية .

وقد نجد قيعان بحار بأكملها قسما من الرف القارى ، ومثلها بحر الشمال وبحر البلطيق ، وبحر الأدرياتيك . والمياه فوق الرف القارى ضحلة، إذ يبلغ عمقها عند حافته صوب المنحدر القارى نحو ١٠٠ قامة (القامة = ١,٨ متر) . ومع هذا فهذا العمق قد يقل فيصل إلى نحو ٧٠ قامة ، وقد يزيد إلى حوالى ٢٥٠ قامة . وينحدر سطح بعض الرفوف القارية انحدارا تدريجيا هينا من الساحل صوب حافة المنحدر القارى بينما يكتنف التضريس سطح بعضها الآخر ، كما هو الحال مثلا فى منطقة خليج مين Maine .

وقد تبين من الدراسات التفصيلية أن القطاعات التضاريسية لنطاق



شكل (٨٣) : الرف القارى

الرفوف القارية تظهر اختلافات بيّنة فى مظاهر سطحها ، فقد اتضح لشيبارد Shepard أن نحو ٦٠ ٪ من هذه القطاعات يرتفع إلى ١٨ مترا (٦٠ قدما) بينما تشغل المنخفضات التى يصل عمقها إلى ١٨ متراً (٦٠ قدما) نحو ٣٥ ٪ من نفس القطاعات . ويزداد تضرس الرف القارى عادة فى المناطق التى تأثرت بالتعرية الجليدية . حينما كانت قسما من اليابس أثناء عصر البلايوستوسين .

المنحدر القارى

ويقصد به المنطقة التى تمثل الإنحدار بين الرف القارى وقاع المحيط أو البحر . وهناك بعض المميزات العامة للمنحدر القارى نلخصها فى الآتى:

١ - أن متوسط ارتفاع المنحدر القارى فوق قاع المحيط (أى المسافة الرأسية بين القاع وحافة الرف القارى) تبلغ نحو ٣٦٠٠ متر (١٢٠٠٠ قدم) ، وقد تزيد على ذلك فتصل إلى ٩٠٠٠ متر (٣٠٠٠٠ قدم) .

٢ - أن درجة انحدار القسم الأعلى من المنحدر القارى أكبر من درجة انحدار القسم السفلى .

٣ - يُقدر متوسط درجة انحدار الرف القارى بنحو سبع ثوانى ، بينما ترتفع درجة انحدار القسم العلوى من المنحدر القارى ، فيصل متوسطها إلى ٤ درجات و ١٧ ثانية .

وهناك اختلافات بينة فى درجة انحدار المنحدر القارى من منطقة لأخرى ، مثال ذلك أن درجة انحداره فى شمال غرب قارة استراليا تبلغ درجة واحدة ، بينما ترتفع إلى حوالى ٢٧ درجة فى جنوب غرب القارة . ويعتقد شيبارد ان الاختلاف فى مقدار درجة الانحدار يرتبط بطبيعة السواحل . فعندما تصب الأنهار الكبيرة فى البحر مكونة لدلتاوات ضخمة ، تقل درجة انحدار المنحدر القارى ويصبح متوسطها نحو درجة واحدة .

وذلك لأن تراكم الرواسب على سطح المنحدر تقلل من انحداره ، بينما تزداد درجة الانحدار نوعا حينما تفتقر السواحل إلى مصبات أنهار كبيرة فتصبح نحو ٣ درجات ، وعندما تكتنف السواحل نطاقات التوائية حديثة يصبح الانحدار حوالى ٤ درجات ، ثم يزداد إلى حوالى خمس درجات حينما تكون السواحل انكسارية .

وسطح المنحدر القارى ليس متسقا ، بل تكتنفه الخوانق والأخاديد وكثيرا ما تحدده التلال أو الحافات ، ومن ثم تعطيه تلك الظاهرات صفة التضرس ، ويمكن أن نصف المنحدر القارى بأنه همزة الوصل بين الرفوف القارية والأعماق .

نشأة الرف القارى والمنحدر القارى :

الظاهرتان متلازمتان وترتبطان ببعضهما ارتباطا كبيرا . ويرى البعض أن نشأة الرف القارى والمنحدر القارى ترتبط بفعل الأمواج والتيارات البحرية ، فهما بمثابة سطح وحافة الرصيف الذى أنشأته الأمواج والتيارات البحرية ، ويرى آخرون أن النشأة ذات اتصال بالرواسب التى جلبتها المجارى المائية ، أو بالحطام الصخرى الذى نحتته الأمواج .

ويفسر بعض الباحثين نشأتهما كنتيجة لهبوب كتلة قارية قديمة كانت التعرية قد نحتت سطحها وحولته إلى سهل تحاتى ، وكان الهبوط مائلا تجاه عرض البحر . ويرون أن الرف القارى و المنحدر القارى اللذين يقعان إلى الشرق من أمريكا الشمالية قد تكونا بهذه الطريقة ، فهم يعتبرونهما بمثابة الحافة لكتلة أبلاشيا Appalachia القارية القديمة . ويعتقد بعض الباحثين أنهما يمثلان نطاقا انكساريا ضخما أصاب قشرة الأرض.

الأشكال الجيومورفولوجية فوق الرفوف والمنحدرات القارية

لقد تبين من مختلف الدراسات أن سطح الرفوف والمنحدرات القارية يزخر بالكثير من الأشكال التضاريسية . ولاشك أن هذا السطح مايزال

يفتقر إلى الكثير من الدراسة والبحث ، ومع هذا فيمكن القول عامة أنه متنوع الأشكال والمظاهر مثله فى ذلك مثل الأراضى اليابسة .

وقد حظيت بعض الرفوف والمنحدرات القارية بدراسات تفصيلية . ومنها خليج مين Maine فى شرق الولايات المتحدة . فقد أمكن الحصول على نحو ١٥٥٠٠٠ تسجيلاً للأعماق فى منطقة بلغت مساحتها حوالى ٢٣٠٠٠ كيلو متراً مربعاً (٨٩٠٠ ميلاً مربعاً) ، ورُسمت للمنطقة خريطة كنتورية للأعماق وبذلك أمكن الكشف عن كثير من المظاهر التضاريسية كالشطوط Banks ، والحافات Ridges ، والروابى Knolls ، والأحواض Basins . ومما لاشك فيه أن الدرسات التفصيلية لمختلف الرفوف والمنحدرات القارية ستظهر فى المستقبل الكثير من أمثال هذه الظاهرات التضاريسية .

وقد قسم كونين Kuenen ظاهرات التضاريس السالبة فى الرفوف والمنحدرات القارية إلى قسمين رئيسين :

أولا : قنوات الرفوف القارية Shelf channels

ثانيا : الخوانق البحرية Submarine canyons

أولا : قنوات الرفوف القارية ، وتتمثل فيما يلى :-

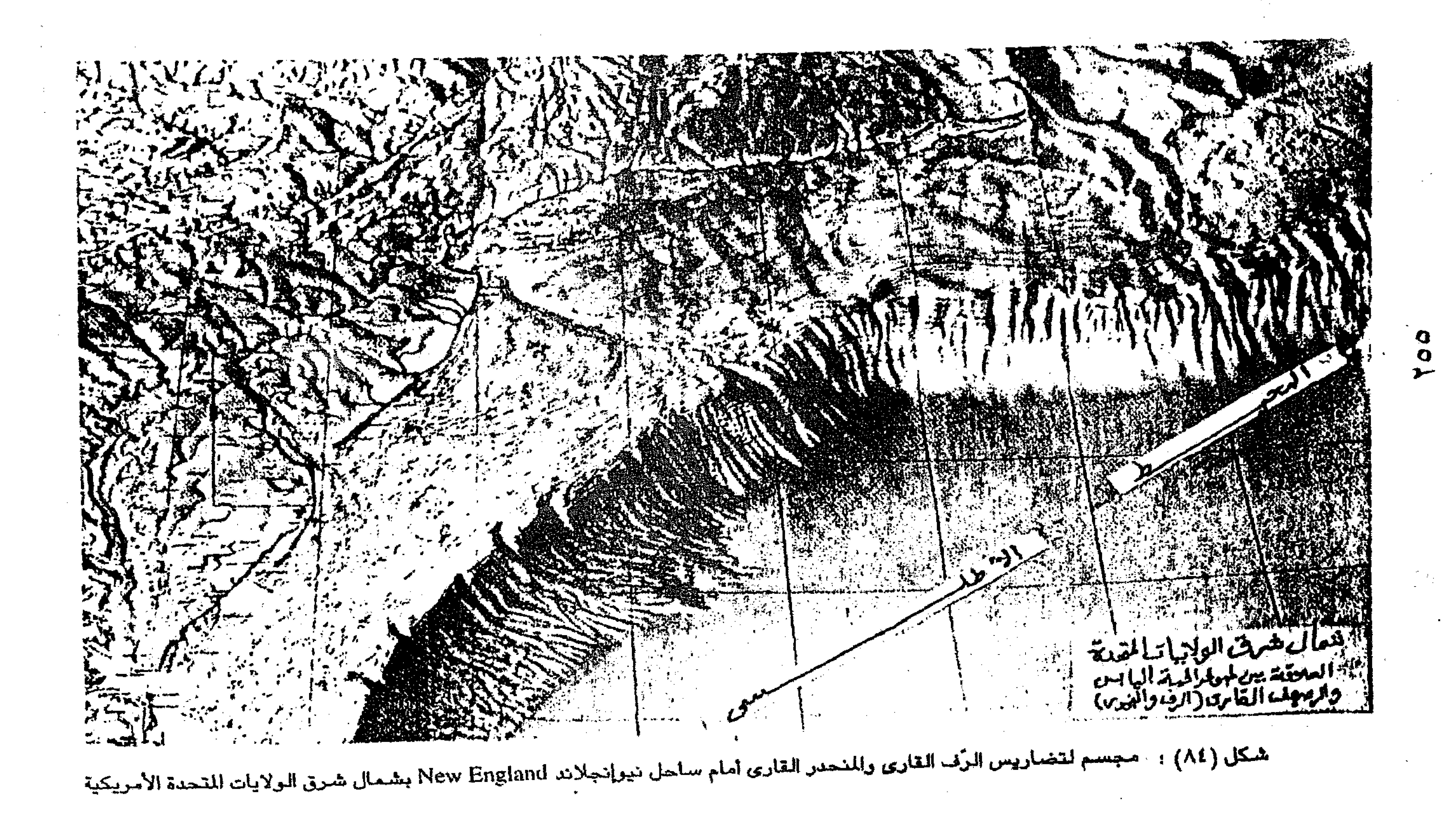
(١) **الأدوية النهرية الغارقة** : وهى تمثل أجزاء من أودية أنهارٍ نشأت فوق اليابس ، ثم غمرتها مياه البحر لسبب أو لآخر ، ومن أشهرها وادى نهر هدسون Hudson ، الذى يمتد فوق الرف القارى تحت المياه بعيدا عن الساحل مسافة ١٩٢ كم . وكذلك امتداد نهر الراين فى قاع بحر الشمال (رف قارى) إلى دائرة عرض جزر أوكنى Orkney .

(٢) **الأودية المدّية** : ونشأت على الرف القارى نتيجة لنحت التيارات المدّية Tidal Currents ، ومنها أودية فوق الرف القارى لبحر Sunda ، وفى جنوب شرق بحر الشمال ، وشرقى الساحل الشرقى للولايات المتحدة الأمريكية .

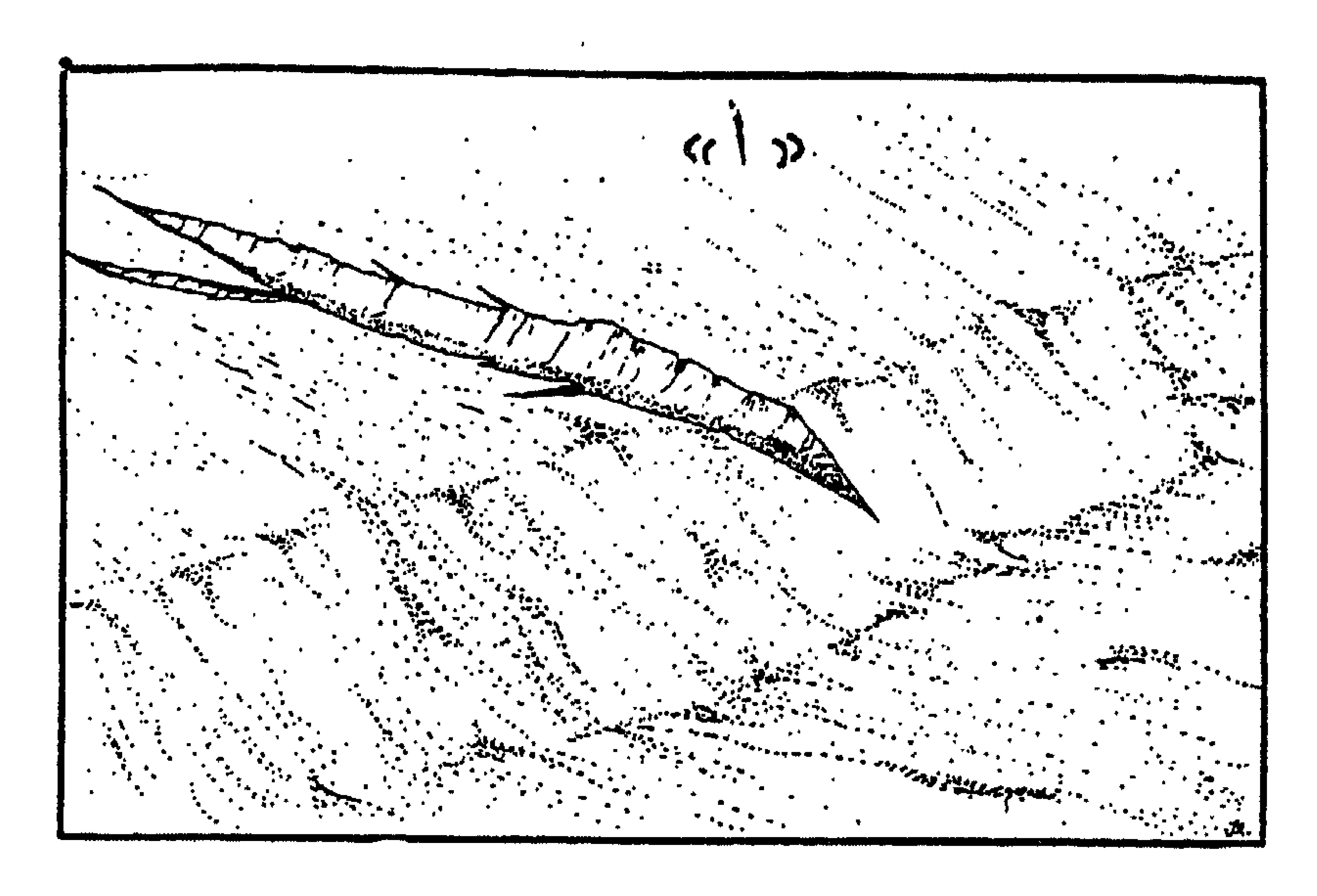
(٣) الأودية والأحواض الجليدية الطولية الغارقة : ومنها الفيوردات التى تمثل أودية جليدية غارقة فى غرب النرويج ، وغرب اسكتلندا ، وغرب كندا والاسكا ، وغرب شيلى .

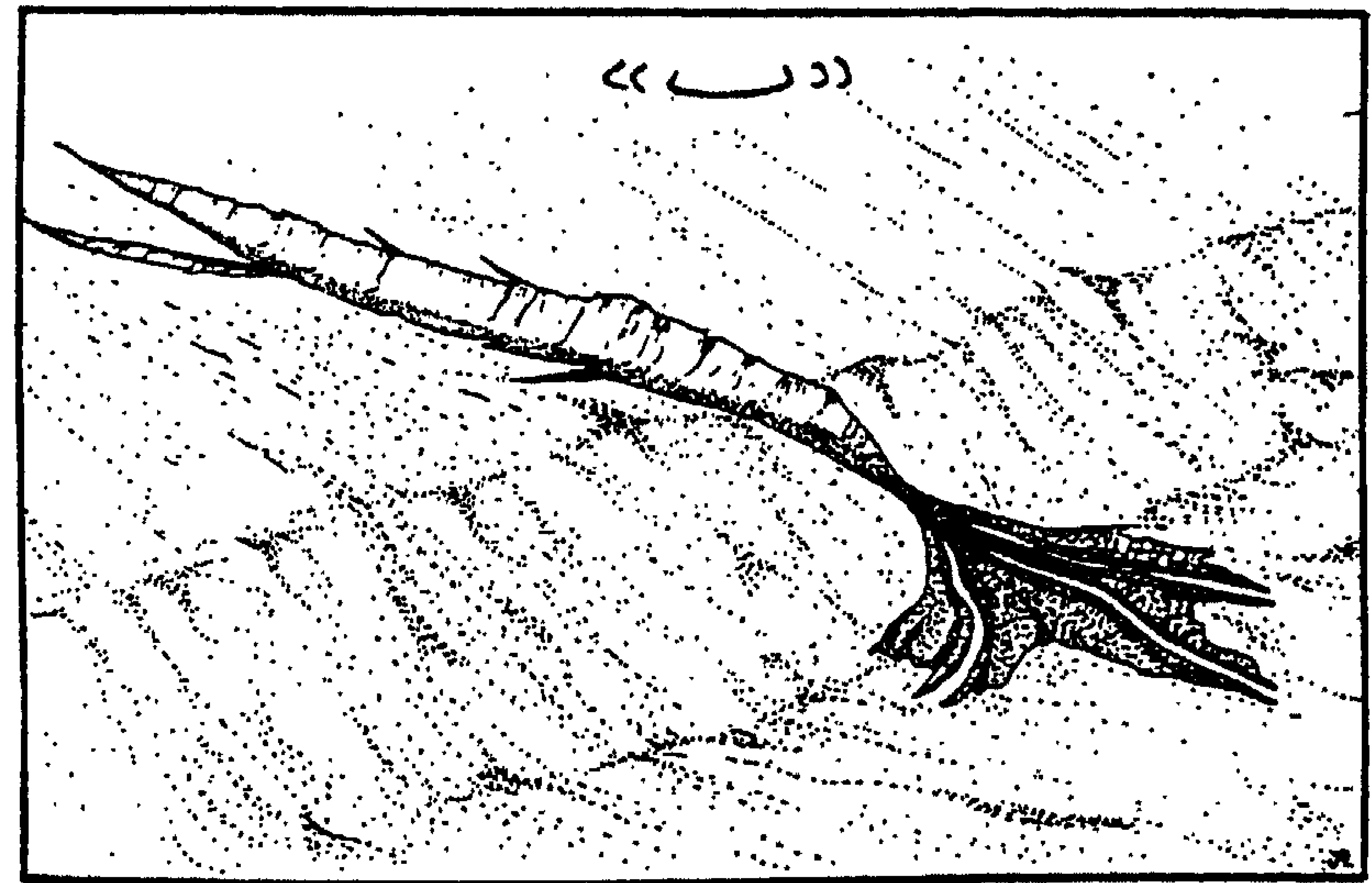
ثانيا : الخوانق البحرية :

هى عبارة عن خنادق غائرة تشبه الأودية ، وتقطع الرفوف والمنحدرات القارية ، ويطلق لفظ خانق Submarine Canyon على العميق منها ، أما الضحل فيطلق عليه شقّ أو قناة غائرة Furrow . ومن أشهر الخوانق البحرية خانق هدسون Hudson الذى يمتد مسافة ٢٢٤ كم فوق المنحدر القارى ، ويُواصلُ وجودة حتى القاع المحيطى العميق مسافة ٤٨٠ كم حيث يصل العمق إلى نحو ٢٥٠٠ قامة بحرية .



شكل (٨٤) : مجسم لتضاريس الرّف القارى والمنحدر القارى أمام ساحل نيوإنجلاند New England بشمال شرق الولايات المتحدة الأمريكية





شكل (٨٥) : خانق بحرى Submarine Canyon يوضح الرسم العلوى شكل خانق بحرى ينتهى فى حوالى منتصف المنحدر القارى ، وهذا نادر الحدوث .

ويوضح الرسم السفلى العلاقة الفعلية بين الخانق البحرى والمنحدر القارى وحضيضه حيث تدفع التيارات العكرة بالرواسب القارية منشئة لمروحة رسوبية أو مخروط رسوبى يدعى مئزر Apron .

وباتحاد هذه المآزر (مراوح أو مخروطات) ينشأ المرتفع القارى Continental Rise .

تضاريس القاع المحيطى العميق

كانت الفكرة السائدة عن طبوغرافية قيعان الأحواض المحيطية قبل كشف واستخدام الموجات الصوتية لسبر الأعماق أنها أشبه بسهل فسيح منبسط أو مموج نوعا . وعلى الرغم من أن الدراسات التفصيلية لم تشمل حتى الآن سوى أجزاء صغيرة نسبيا من قيعان المحيطات ، إلا أن البيانات والمعلومات التى أمكن جمعها كافية لأن تثبت خطأ هذا الإعتقاد القديم . ولقد نجد مساحات واسعة من قيعان المحيطات تفتقر لوجود مظاهر تضاريسية كبرى ، ولكن هذا لا يُعتبر بمثابة قاعدة ، فالواقع أن الشاذ هو أن يكون قاع البحر أو المحيط سهلاً مستوياً متسقا . ولقد يبدو هذا عجيبا خصوصا أننا نعرف أن البحار والمحيطات تمثل أحواضا للإرساب ، وأن عمليات التعرية التى تشكل سطح اليابس بين إرتفاع وإنخفاض عديمة الأثر فى القيعان المحيطية .

ولا يُشكّ فى أن النشاط البركانى والإضطرابات والحركات الأرضية هى المسئولة إلى حد كبير عن تكوين التضاريس الكبرى لقيعان الأحواض المحيطية . وتتميز تضاريس القاع المحيطى بحدتها ، ويرجع السبب فى ذلك إلى أن تأثير عمليات التجوية والتعرية التى تُعدل وتخفف من حدة التضاريس القارية ينعدم أو يصل إلى أدنى درجاته فى قاع المحيط .

ولنتخذ لتوضيح ذلك حافة إنكسارية ، فحالما تبرز هذه الحافة فوق اليابس تتناولها عوامل التعرية بالتحطيم والهدم ، فتعدل من مظهرها ، بل وتطمس معالمها بمرور الزمن . أما الحافة الإنكسارية فوق قاع المحيط فتظل بارزة بشكلها ومميزاتها ما لم يطرأ عليها تغير بفعل العوامل الباطنية . ومن المحتمل أنه لو أمكن وانكشف قاع المحيط للعيان لرأينا الكثير من المظاهر التركيبية وأشكال السطح الكبرى التى نراها فوق اليابس .

التضاريس السالبة

وأهم أشكالها فوق القيعان العميقة هى :

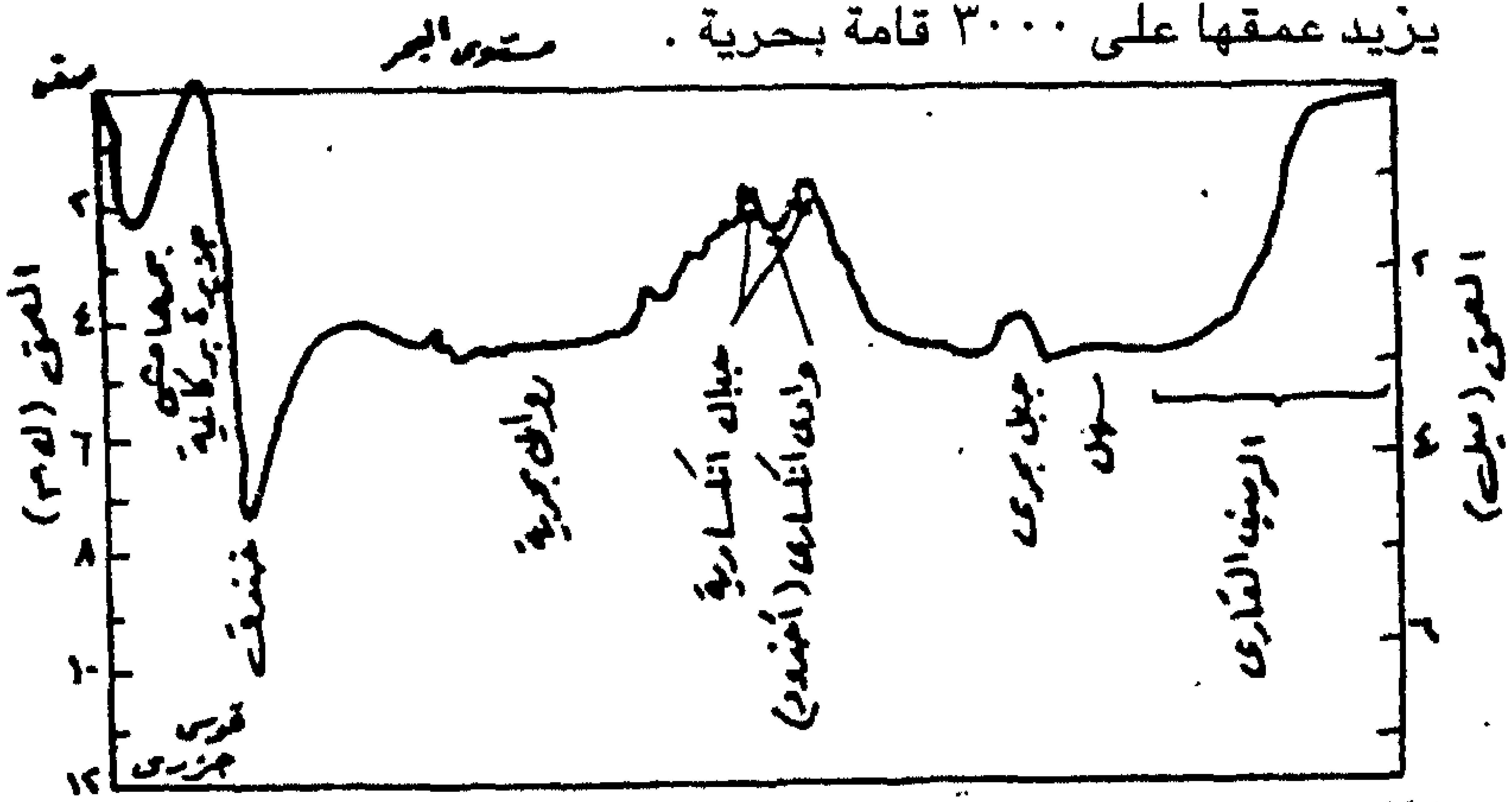
الأحواض Basins ، والخنادق Trenches ، والأحواض المستطيلة Troughs ، والأغوار (الأعماق) Deeps .

ويُطلق تعبير الحوض على المنخفض الضخم فى قاع البحر العميق الذى يتميز بشكل مستدير أو شبه مستدير أو بيضاوى وبانحدارات هيّنة جدا . وهناك أمثلة لهذه الأحواض فى شمال المحيط الأطلسى مثل حوض غرب أوروبا ، وحوض كنارى ، وحوض رأس فيردى ، وحوض نيوفوندلاند . وهناك أحواض بحرية أخرى يحيط بها اليابس أو يكاد ومثلها حوض الكاريبى ، وحوض البحر المتوسط ، وحوض سيليبس Celebes ، وحوض خليج المكسيك .

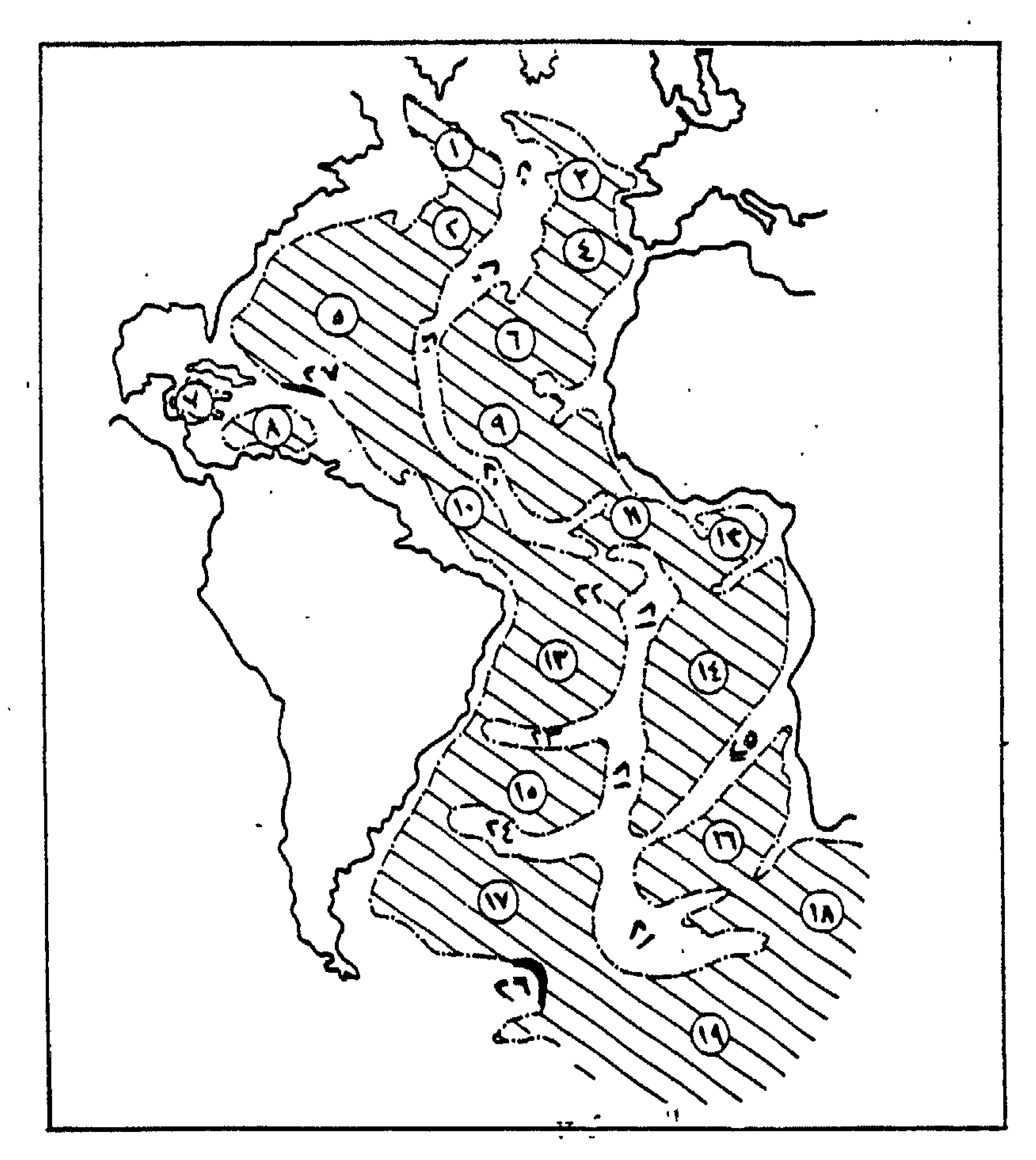
أما **الخندق** فعبارة عن منخفض ضيق طويل فوق القاع العميق ويتميز عادة بجوانب شديدة الإنحدار .

وأما **الحوض المستطيل** فهو عبارة عن منخفض ضيّق وطويل ، وتتميز جوانبه بانحدارات أقل شدة من منحدرات الخندق .

ويُطلق تعبير الأغوار على كل الأعماق فى القيعان المحيطية التى يزيد عمقها على ٣٠٠٠ قامة بحرية .



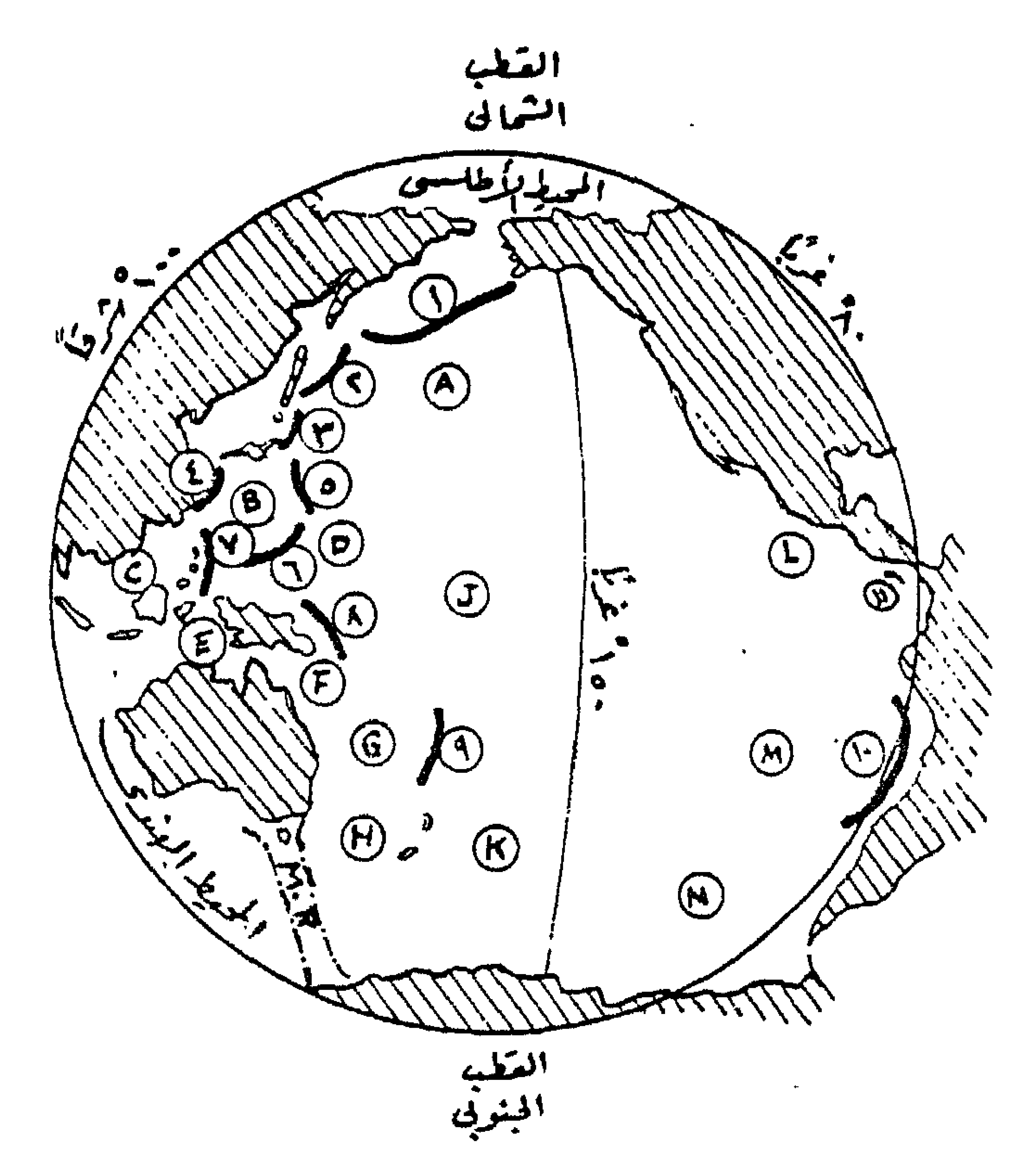
شكل (٨٦) : طبوغرافية قاع محيطى
بانتهاء الرصيف القارى ، يبدأ حوض المحيط Ocean Basin فى عمق ٤٠٠٠ ـ ٦٠٠٠ متر (٢,٥ ـ ٣,٥ ميل) . وتشغل الأحواض المحيطية العميقة نحو ٣٠٪ من مساحة الكرة الأرضية .



شكل (٨٧) : المحيط الأطلسى : شكل المحيط ومميزاته التضاريسية

شكل المحيط ومميزاته التضاريسية إلى الجنوب من جزيرة أيسلندا

١ ـ حوض لبرادور
٢ ـ حوض نيوفوندلاند
٣ ـ حوض غرب أوروبا
٤ ـ حوض أيبيريا
٥ ـ حوض أمريكا الشمالية
٦ ـ حوض كاناريا
٧ ـ الحوض الكاريبى الغربى
٨ ـ الحوض الكاريبى الشرقى
٩ ـ حوض كيب فيردى
١٠ ـ حوض جيانا
١١ ـ حوض سييراليون
١٢ ـ حوض غينيا
١٣ ـ حوض شمال البرازيل
١٤ ـ حوض أنجولا
١٥ ـ حوض جنوب البرازيل
١٦ ـ حوض الكاب
١٧ ـ حوض الأرجنتين
١٨ ـ حوض أجولهاس
١٩ ـ حوض القطب الجنوبى
٢٠ ـ حافة دولفين Dolphin
٢١ ـ حافة تشالينجار
٢٢ ـ أخدود رومانش
٢٣ ـ سلسلة ترينيداد
٢٤ ـ سلسلة ريوجراند
٢٥ ـ حافة والفيس Walfes
٢٦ ـ خندق جنوب ساندوتش
٢٧ ـ خندق بورتوريكو



شكل (٨٨) : المحيط الهادى

يوضح الرسم الخنادق الرئيسية مرقمة من ١ ـ ١٠ ، والأحواض الرئيسية موضحة بالحروف الإفرنجية من A حتى N .

١ ـ خندق ألوشيان Aleutian
٢ ـ خندق كوريل
٣ ـ خندق اليابان
٤ ـ خندق ريوكيو Ryukyu
٥ ـ خندق بونين Bonin
٦ ـ خندق مارياناس Marianas
٧ ـ خندق الفيليبين
٨ ـ خندق كارولاينس Carolines
٩ ـ خندق تونجا ـ كيرماديك Tonga - Kermandic
١٠ ـ خندق أتاكاما Atacama
١١ ـ خندق أمريكا الوسطى

A حوض شمال المحيط الهادى
B حوض الفيليبين
C حوض جنوب الصين
D حوض كارولاينس Carolines
E حوض باندا Banda
F حوض الكورال (المرجان) Coral
G حوض فيجى Fiji
H حوض شرق استراليا
J حوض وسط المحيط الهادى
K حوض جنوب المحيط الهادى
L حوض جواتيمالا
M حوض بيرو
N حوض الهادى ـ الأنتاركتيكى
M.R حافة ماكوارى Macquarrie



شكل (٨٩) : المحيط الهندى .

توضح الخريطة (مرسومة بمسقط مولفايدى Mollweide الذى يحقق المساحات المتساوية) للميزات الطبوغرافية الرئيسية لقاع المحيط الهندى ، ومنها يتضح :

١ ـ أن الحافة الطولية الممتدة فى قاع المحيط عريضة نسبياً ، ويستمر امتدادها دون تقطع أسفل أعماق ٢٠٠٠ قامة بحرية ، ويعرف قسمها الجنوبى باسم حافة كيروجولين Kerguelen .

٢ ـ أن أعمق أجزاء المحيط الهندى توجد فى خندق سوندا Sunda ، ويبلغ أقصى عمق أمكن تسجيله حتى الآن ٤٠٨٠ قامة بحرية .

١ ـ خندق سوندا Sunda

٢ ـ حافة المحيط الهندى

A الحوض العربى

B حوض الصومال

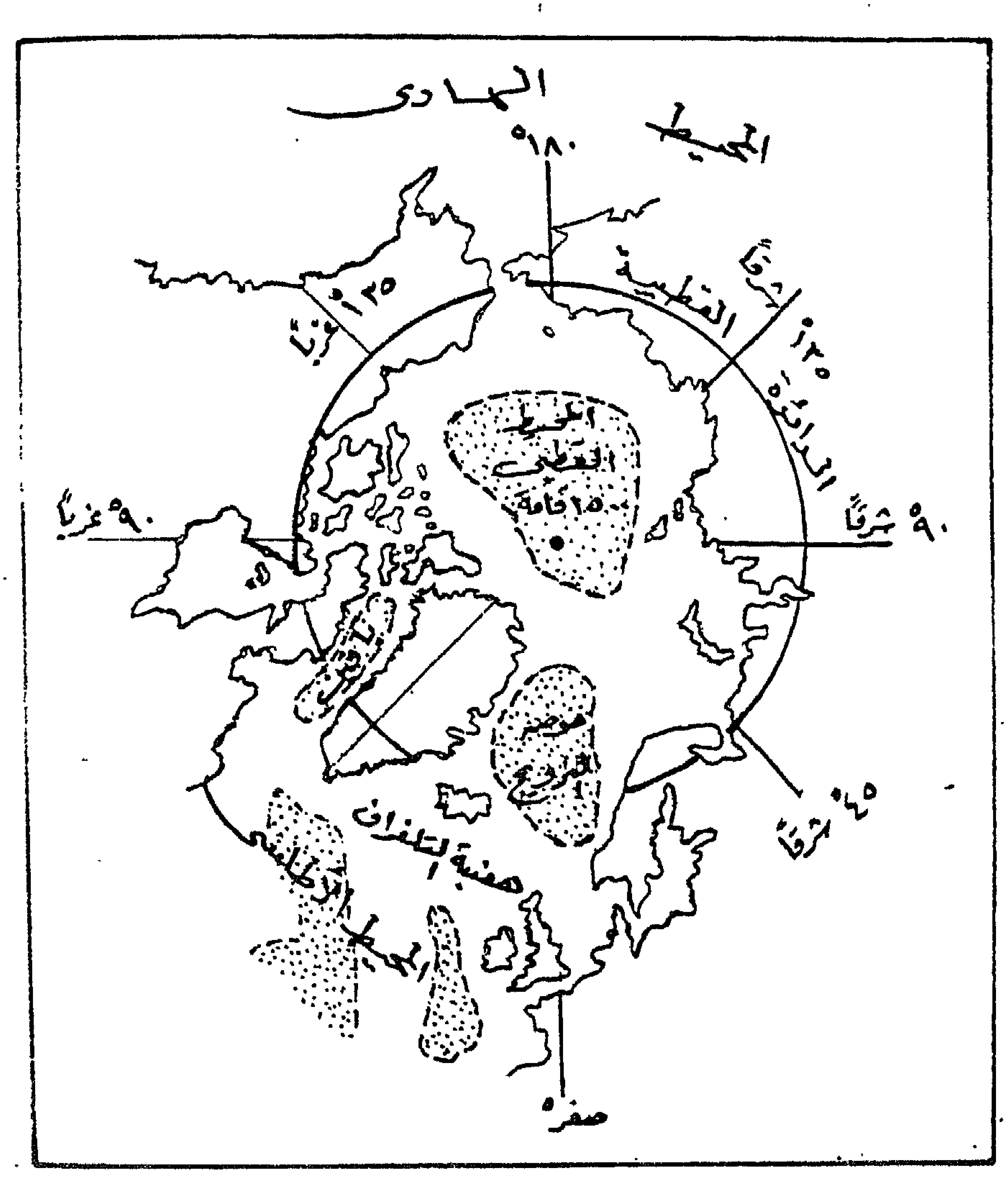
C حوض ماسكارينيس Mascarenes

D حوض مدغشقر

E حوض الهند ـ استراليا

F حوض جنوب استراليا

G حوض شرق الهندى ـ أنتاركتيكا

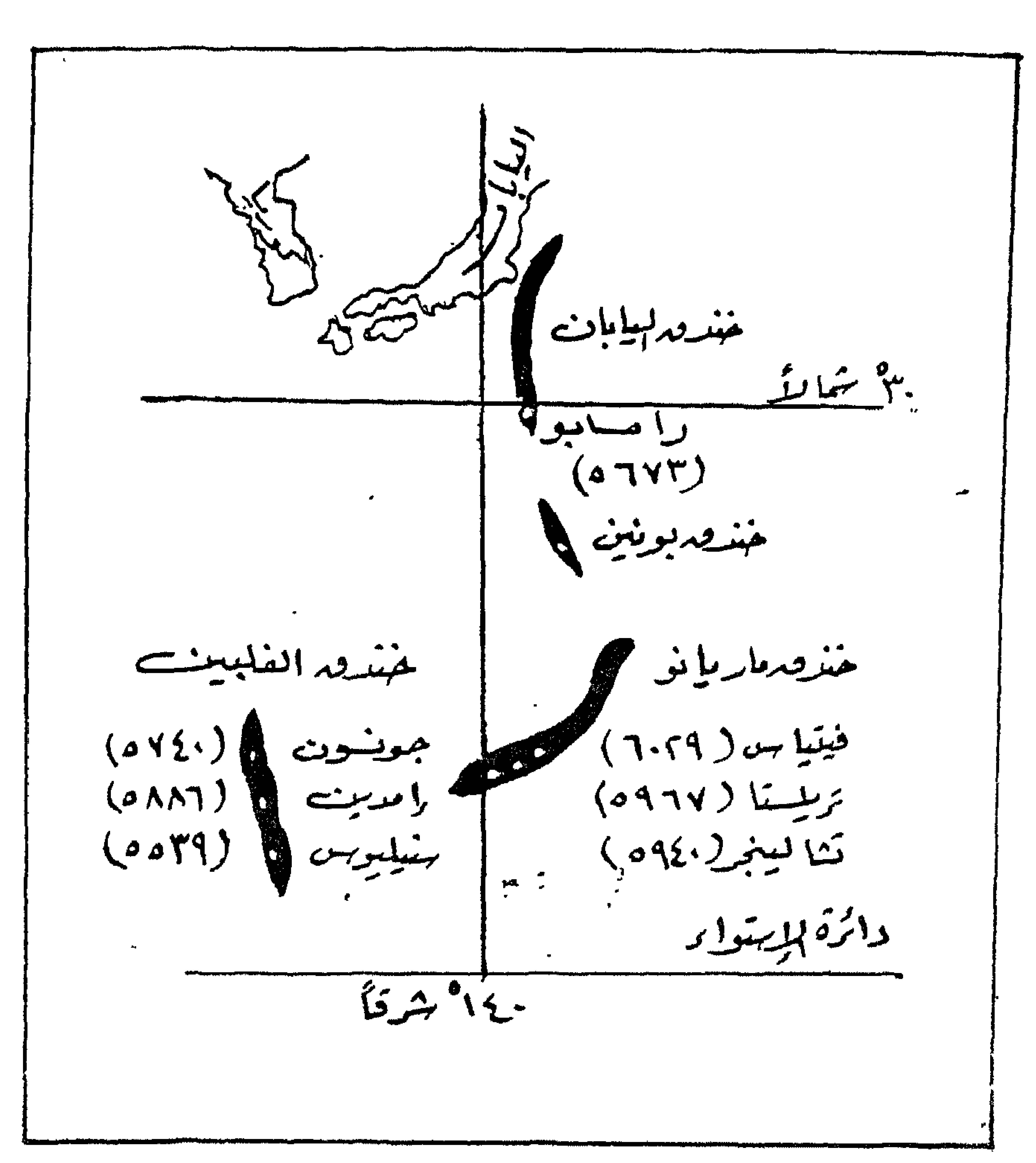


شكل (٩٠) : البحار القطبية

(مسقط رسم قطبى يحقق المسافات المتساوية)

يوضح الرسم المميزات التضاريسية الرئيسية للبحار القطبية .

يتميز البحر (المحيط) القطبى الشمالى بعظم إتساع المياه الضحلة التى تتاخم السواحل القطبية من أمريكا الشمالية والاتحاد الروسى . ويبرز من قيعان هذه المياه الضحلة عدد عديد من الجزر ، وبصفة خاصة جزر الأرخبيل الكندى .



شكل (٩١) : الخنادق العميقة فى المحيط الهادى

(مسقط مركيتور)

توجد اعمق القيعان المحيطية فى غرب المحيط الهادى الذى يحوى الخنادق العظمى الشديدة العمق ، التى تمتد من شرق اليابان ، جنوباً إلى شرق جزر الفلبين . ويتضح من الخريطة أن الأعماق السحيقة فى الخنادق المشهورة تتراوح أعماقها بين ٥٥٣٩ ـ ٦٠٢٩ قامة بحرية (بين ١٠٠٢٥ ـ ١١٠٢١ مترا) .

وفى عام ١٩٥٩ تمكنت سفينة الأبحاث الأوقيانوغرافية التابعة للاتحاد السوفييتى ، والتى تسمى فيتياز Vitiaz من تسجيل عمق بلغ ٦٠٢٩ قامة بحرية .

ومن الأعماق الكبيرة التى جرى تسجيلها فى غربى المحيط الهادى

وتزيد على ٩٦٠٠ متر ما يلى :

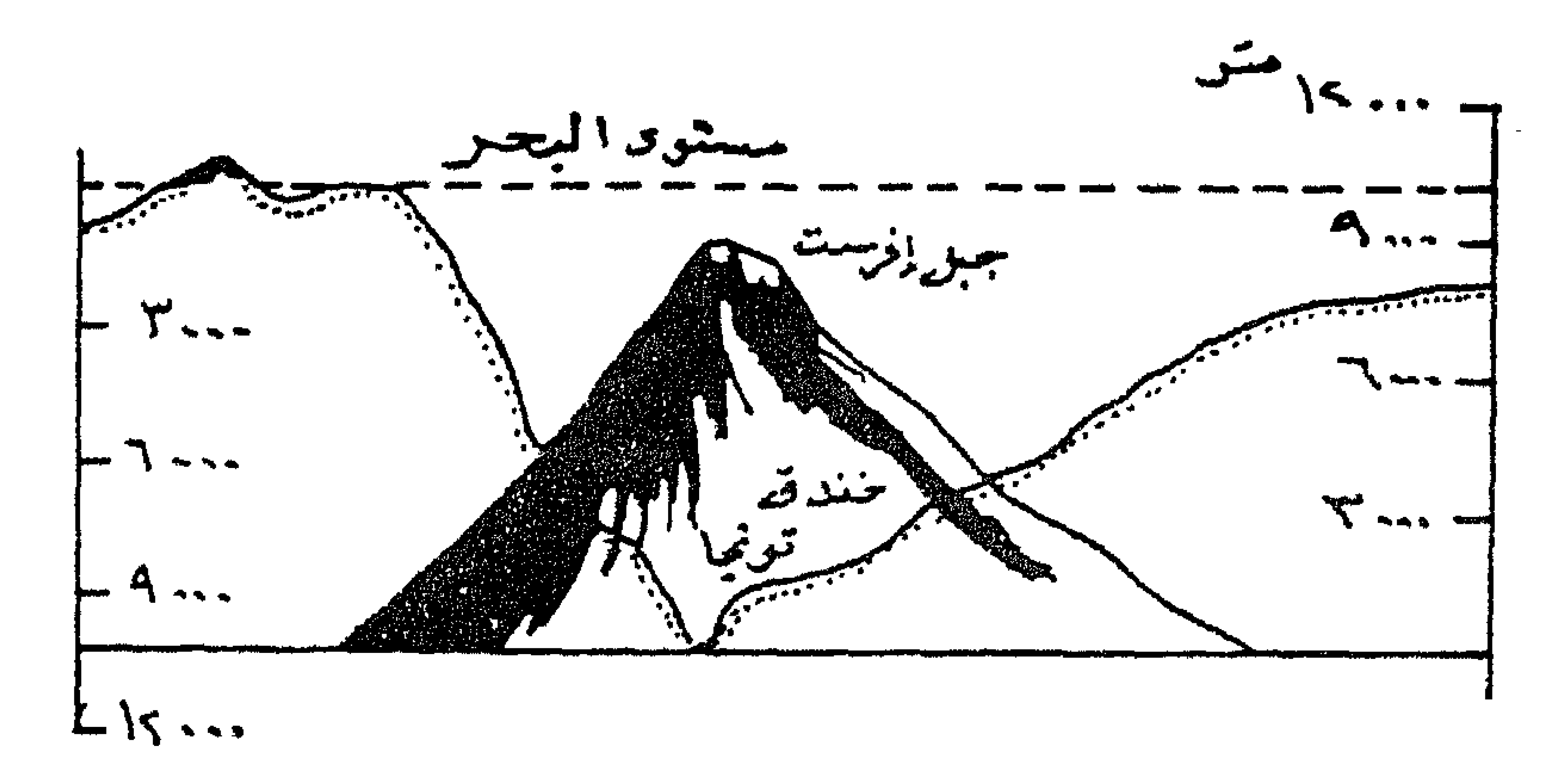
عمق جالاتا Galata Depth ومقداره ٥٧٦٣ قامة ، عمق رأس جونسون Cape Johnson ومقدارة ٥٧٤٠ قامة ، عمق إمدين Emden Depth ومقداره ٥٨٨٦ قامة ، عمق سنيلليوس Snellius Depth ومقداره ٥٥٣٩ قامة ، وجميع هذه الأعماق السحيقة تتواجد فى خندق الفيليبين . وهناك عمق سحيق أيضا تم تسجيله فى خندق اليابان ومقداره ٥٦٧٣ قامة .

ومن الواضح أن أعمق أعماق المحيطات طراً يقع غربى المحيط الهادى متمثلاً فى هذه الأخاديد أو الخنادق العملاقة الممتدة جنوباً من شرقى اليابان إلى شرقى جزر الفيليبين (أنظر خريطتى توزيع الخنادق والأحواض فى المحيط الهادى) .

وعلى الرغم من أن خندق بيرو - شيلى ضحل نوعاً (أقصى عمق فيه ٤٢١٤ قامة) . فإن جانباً من جانبيه **يضم الجانب الغربى لجبال الأنديز** Andes ، يشمخ إلى إرتفاع يناهز ١٢٦٠٠ متر (٤٢٠٠٠ قدم) .

ولكى نتصور مقدار العمق السحيق الذى تطوله نقاط فى الخنادق المحيطية يمكننا أن ننظر إلى الشكل المقارن بين إرتفاع قمة جبل إفرست Everest فى الهيمالايا ، أعلى جبال العالم ، وعمق خندق تونجا Tonga Trench فى المحيط الهادى .

ولعل أفضل خندق تم الكشف عنه فى القيعان المحيطية ، هو المعروف بأسم **خندق أمريكا الوسطى** Middle America Trench . ويمتد من الطرف الجنوبى لخليج كاليفورنيا جنوبا حتى جمهورية بنما . وقد قام بسبر أغواره معهد إسكريبس Scripps للأبحاث المحيطية ، وصنع خرائطه الكنتورية الباحث فيشر R.L Fisher وقد وجد فيشر أن قسماً من الخندق ، هو الجزء الجنوبى ، يتخذ شكل الحرف الإفرنجى V ، وأن القسم الباقى (الشمالى) ذو قاع مستوٍ منبسط يبلغ اتساعه عديدا من الكيلو مترات بينما جوانبه شديدة الانحدار أيضاً ، فهو يتخذ شكل الحرف الإفرنجى U .

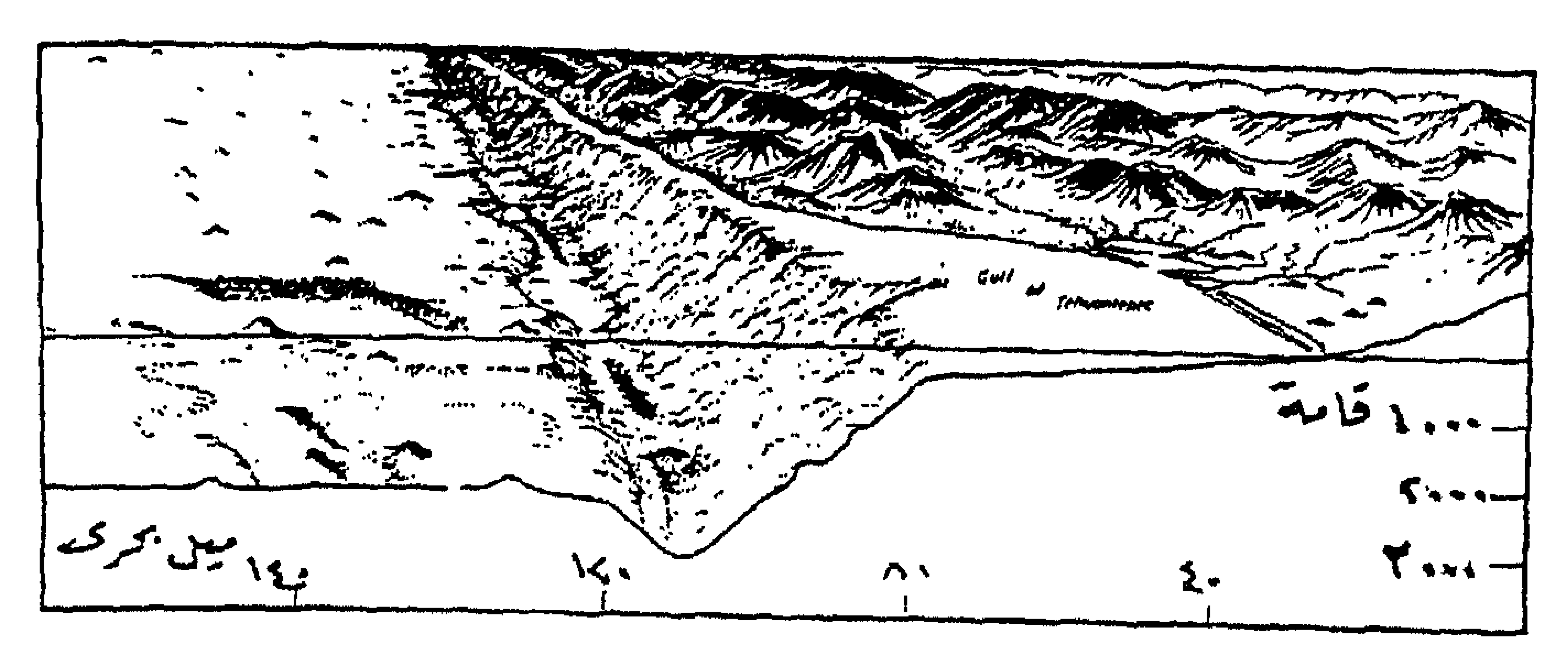


شكل (٩٢) : مقارنة بين جبل إفرست Everest وخندق تونجا . وقد رسم كلاهما بنفس مقياس الرسم (المبالغة الرأسية ١٦ مرة) .

وقد تبين من الدراسات السيسمولوجية (إنعكاسات زمنية لتفجيرات ديناميت أسفل سطح المياه) التى قام بها باحثان فى معهد اسكريبس Scripps ، هما فيشر وجورج شور George Shor ، أن أجزاء الخندق المسطحة المنبسطة يفترشها غطاء سميك من الرواسب ، بينما ينعدم وجود هذا الغطاء فى أجزاء الخندق التى يتخذ شكلها شكل الحرف الإفرنجى V . ويقطع جدار هذا الخندق تجاه اليابس عدد من الخوانق البحرية Canyons . وبحسب ما أمكن جمعه من المعلومات ، فإن هذه الخوانق لاتمتد حتى مشارف قاع الخندق .

ويوجد بقاع الخندق سلسلة من الأحواض المتباينة فى أعماقها ، لكن أحداً منها لايزيد عمقه على ٣٧٠٠ قامة . كما تبرز من القاع بعض التلال التى يظن أنها مخاريط بركانية بحرية .

هذا وينبغى أن نشير إلى ظاهرة إمتداد خطوط البراكين موازية لكثير من الخنادق ، وهى تقع على وجه التقريب فوق قمة النطاقات التى تتميز بمراكز زلزالية داخلية متوسطة العمق . وبالمثل يلاحظ توزع سلاسل من الجزر القوسية الشكل على الجوانب المحدبة للخوانق ، مثل القوس الجزرى الألوشى ، وقوس كوريل الجزرى ، وقوس جزر مارياناس. ومعظم هذه الأقواس الجزرية بركانية النشأة .



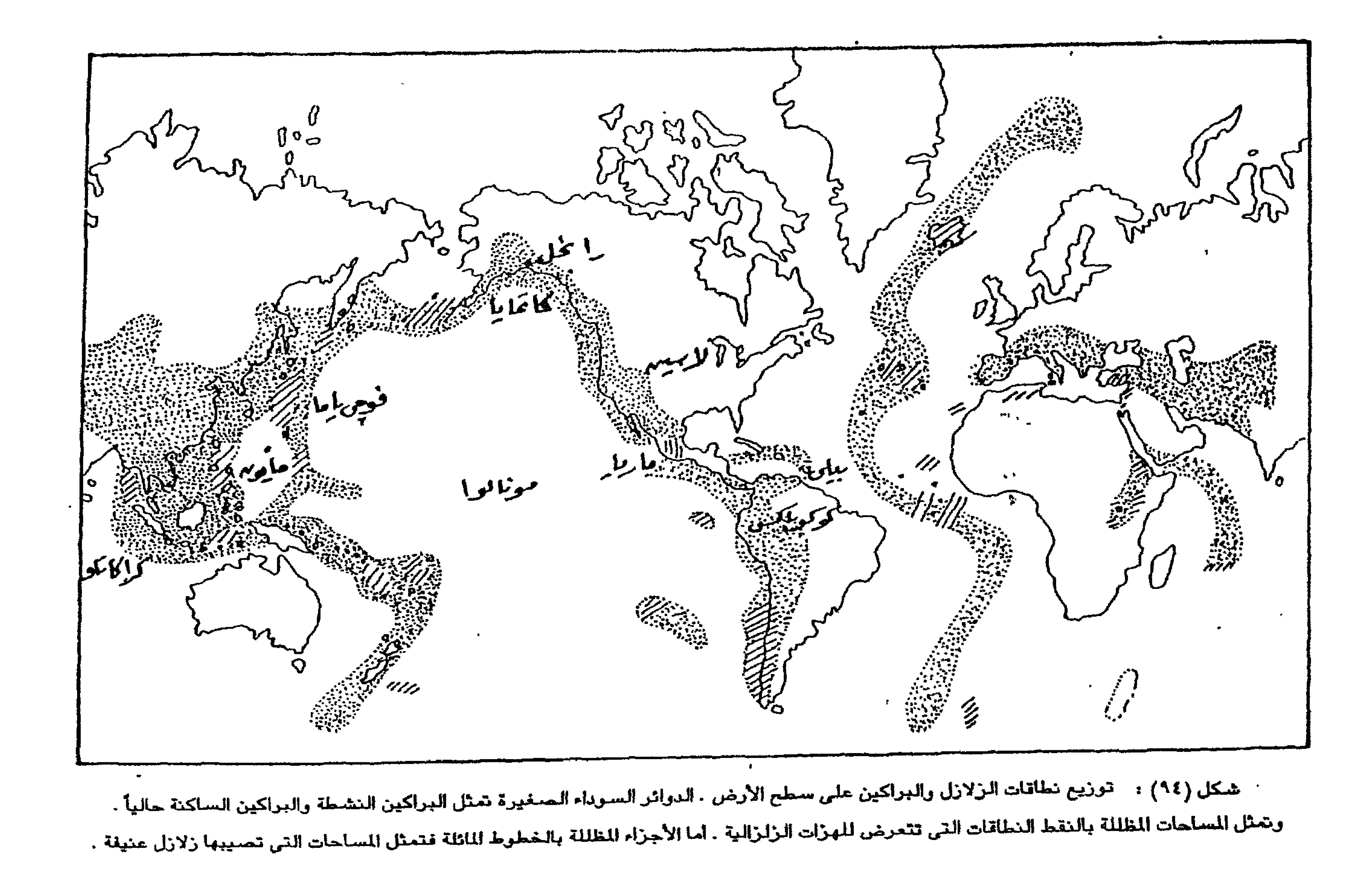
شكل (٩٣) : رسم مجسم يوضح طبيعة خندق امريكا الوسطى فى إمتداده على طول ساحل غرب المكسيك . وتبدو البراكين فى الشكل على هيئة روابى تبرز من قاع المحيطه .

هذا وفى المحيط الهندى لانجد خندقاً حقيقياً فى سوى ما يسمى خندق سوندا Sunda Trendh . وهو أخدود Furrow ضيق يقع إلى الجنوب من جزر سوندا (من جزر إندونيسيا) وموازياً لها ، وفيه أمكن تسجيل أعمق نقطة فى المحيط الهندى ، ومقدارها ٤٠٨٠ قامة بحرية .

إرتباط نشأة الخنادق بالزلازل والبراكين وأقواس الجزر

لقد ألمح للعلاقة الخاصة بين الخنادق المحيطية والزلازل والبراكين وأقواس الجزر وغيرها من الظواهر عدد غير قليل من البحاث منهم هارى هيس Harry Hess ، وبينو جوتين بيرج Beno Gutenberg ، وتشارلس ريشتر Charles Richter . ويغلب على الظن أن السبب فى نشأة الخنادق إنما يرجع إلى حركات فى القشرة الأرضية مثل عمليات التكسر والعيوب.

وتبدو ظاهرة الزلازل أكثر حدوثاً وشيوعاً على طول إمتداد الخنادق منها فى أى بقعة أخرى من قشرة الأرض بنفس المساحة . وقد اتضح من مختلف الدراسات أن كل الهزات الزلزالية التى تحدث على طول إمتداد الخنادق هزات ضحلة ، بينما يزداد عمق المراكز الداخلية للزلازل كلما ابتعدنا عن مواقع الخنادق باتجاه اليابس ، حتى نصل إلى خط يبعد عن



شكل (٩٤) : توزيع نطاقات الزلازل والبراكين على سطح الأرض . الدوائر السوداء الصغيرة تمثل البراكين النشطة والبراكين الساكنة حالياً . وتمثل المساحات المظللة بالنقط النطاقات التي تتعرض للهزات الزلزالية . أما الأجزاء المظللة بالخطوط المائلة فتمثل المساحات التي تصيبها زلازل عنيفة .

الخنادق بنحو ٣٢٠ كيلو متراً (٢٠٠ ميل) ، فى إتجاه اليابس ، فيه وعلى امتداده تصبح المراكز الداخلية للزلازل عميقة ، أى يزيد عمقها على ٣٠٠ كيلو متر .

وهذه الصلة ، أو ذاك الارتباط يبدو موجوداً بالنسبة لكل خنادق المحيطات . وفضلاً عن ذلك فإن الخنادق ينعدم وجودها حيثما أصبحت الزلازل ضحلة فى إتجاه اليابس . وتبعاً لذلك فقد ساد الرأى القائل بأن نمط الزلازل هذا يشير إلى وجود نطاق عيبى عظيم ينحدر مائلاً أسفل الهوامش القارية . وتمثل أقواس الجزر أجزاء من الحافات العيبية القافزة ، تشكل هاماتها البراكين ، بينما تشغل الخنادق القيعان الأخدودية . وعلى إمتداد هذه وتلك مايزال النشاط التكتونى دائباً ، فيما يظهره من ثوران بركانى ، وهزات زلزالية .

التضاريس الموجبة

أهم المظاهر الطبوغرافية التى تبرز فوق القيعان المحيطية العميقة هى المرتفعات Rises أو الانتفاخات Swells ، والحافات Ridges ، والهضاب Plateaus ، والجبال البحرية Seamounts . .

أولا : المرتفعات

ويستخدم تعبير مرتفع أو انتفاخ للدلالة على ارتفاعات فسيحة طويلة وعريضة ، وتتميز بمنحدرات هينة سهلة . ومن بين هذه المرتفعات المرتفع الذى يقع فى المحيط الهادى ويعرف باسم مرتفع هواى . ويبلغ عرضه ٩٦٠ كيلو مترا (٦٠٠ ميل) وطوله حوالى ٣٠٤٠ كيلو مترا (١٩٠٠ميل) ، وينحدر صوب القاع انحدارا هينا ، وفوقه تبرز المخروطات البركانية التى تتألف منها جزر هواى . وفى المحيط الأطلسى هناك مرتفع أيسلندا ـ فارو Iceland - Faeroe Rise ، ومرتفع جرينلندا ـ أيسلندا Greenland - Iceland Rise الذى يمثل وصلة ضحلة (عمق المياه

فوقه ٤٠٠ قامة) بين قارة أوروبا وجزيرة جرينلندا . ويستمر هذا المرتفع غربا بواسطة مرتفع بافين ـ جرينلندا Baffin - Greenland Rise .

ثانيا : الحافــات

أما **الحافة Ridge** فهى مرتفع طويل ضيق فوق قاع المحيط العميق، وتتميز بجوانب شديدة الإنحدار ، كما تتميز بوعورتها . وأكثر الحافات المحيطية شهرة ومعرفة هى الحافة الأطلسية الوسطى Mid - Atlantic Ridge وهى تمتد من جزيرة أيسلندا فى الشمال إلى جنوب المحيط الأطلسى عند جزيرة بوفيت Bouvet Island ، حوالى خط عرض ٥٥ درجة جنوبا ، ويبلغ طولها زهاء ١٤٤٠٠ كيلو متر (٩٠٠٠ ميل) . وكثير من جزر المحيط الأطلسى تقع فوق هذه الحافة ، مثل جزر أزورس ، وسان بول St. Paul's Rocks قرب دائرة الاستواء ، وجزيرة أسنسيون Ascension ، وسان هيلينا St. Helena وجزيرة تريستان داكونها Tristan da Cunha ، وأيضا جزيرة أيسلندا ، وجزيرة بوفيت Bouvet .

ولقد قام كثير من الباحثين بدراسة تلك الحافة دراسة مستفيضة ، وكشفوا الكثير من تفصيلات طبوغرافيتها . ولقد تبين من هذه الدراسات أنها تتركب من ثلاث أنماط مورفولوجية .

فهناك **نطاق أوسط** مرتفع يُعبّر عنه أحيانا بالسلسلة الرئيسية Main Range ، ويتركب هذا النطاق من عدة حافات متوازية تمتد امتدادا عاما من الشمال الشرقى صوب الجنوب الغربى . وتوجد أجزاء كثيرة من هذه الحافات على أعماق لاتزيد على ٨٠٠ قامة .

وفيما بين عمقى ١٦٠٠ قامة و ٢٥٠٠ قامة على جوانب السلسلة الرئيسية تمتد سلسلة من المسطحات المتعاقبة ، وهى التى يطلق عليها أسم النطاق المدرج Terraced Zone . وتتباين هذه المسطحات أو المصاطب فى الاتساع إذ يتراوح عرض سطح المصطبة الواحدة بين كيلو متر واحد وثمانين كيلو مترا . ويبلغ عرض النطاق جميعه (أى عرض جميع

المصاطب أو النطاق المدرج) بين ٣٠٠ ـ ٥٠٠ كيلو متر .

أما **النطاق الثالث** فيقع على عمق ٢٩٠٠ قامة تقريبا ، وهو يمتد بين النطاق المدرج ، وسطح القاع المحيطى . وهذا النطاق جبلى ومضرس ويختلف فى خصائصه ومميزاته عن النطاقين السابقين . وهو يمتد من شمال الشمال الشرقى صوب جنوب الجنوب الغربى ، ويحتوى على قمم منفردة يصل ارتفاعها إلى أكثر من ٩٠٠ متر (٣٠٠٠ قدم) . ويُطلق على هذا إسم النطاق التلالى الأسفل Foothills للحافة الأطلسية الوسطى .

هذا ويُعرف الجزء الشمالى من الحافة باسم حافة دولفين Dolphin Ridge ، بينما يُسمى الجزء الواقع منها إلى الجنوب من دائرة الإستواء باسم حافة المتحدى Challenger Ridge . وعمق المياه من فوق الحافة الأطلسية لا يزيد فى العادة على ١٥٠٠ قامة بحرية ، لكن هنالك انقطاع واضح يقع إلى الشمال من دائرة الإستواء بقليل . ويُعرف هذا الانقطاع باسم أخدود أو خندق رومانش Romanche Furrow ، حيث تصل أعماق المياه نحو ٤٠٠٠ قامة بحرية .

وهناك حافات عرضية تتفرع من الحافة العملاقة الوسطى . ولهذه الحافات المستعرضة أهميتها الخاصة فى التأثير على الدورة المائية فى مياه المحيط الأطلسى العميقة . وتقسم هذه الحافات الحوضين العظيمين على جانبى الحافة إلى عدد من الأحواض الأصغر . ومن بين الحافات العرضية الهامة فى المحيط الأطلسى حافة والفيس Walvis Ridge ، وحافة ريو جراند Rio Grand Ridge . فحافة والفيس تصل الحافة الرئيسية بالساحل الأفريقى فى حوالى دائرة عرض ٢٠° جنوبا ، وهى تتفرع من الحافة الرئيسية عند موقع « تريستان داكونها » Tristan da Cunha . أما حافة ريوجراند فتمتد غربا من الحافة الرئيسية ، وتربطها بساحل أمريكا الجنوبية على امتداد المنطقة فيما بين درجتى عرض ٣٠ ـ ٣٥ جنوبا .

وتفصل حافة والفيس حوض أنجولا Angola Basin فى الشمال ، عن حوضى الراس Cape ، وأجولاس Aghulas فى الجنوب الأطلسى ،

ولاشك أن هذه الصلة تلعب دورا هاما فى دورة المياه العميقة للمحيطين .

الهضاب البحرية

أما الهضاب البحرية فهى عبارة عن مرتفعات فسيحة على قاع المحيط العميق تتميز بقمم مستوية نسبيا . ومن أمثلتها هضبة الباتروس Albatros Plateau فى المحيط الهادى إلى الغرب من أمريكا الوسطى والجنوبية ، وهضبة سيشيل Seychelles فى المحيط الهندى ، وهضبة الأزورس فى شمال المحيط الأطلسى .

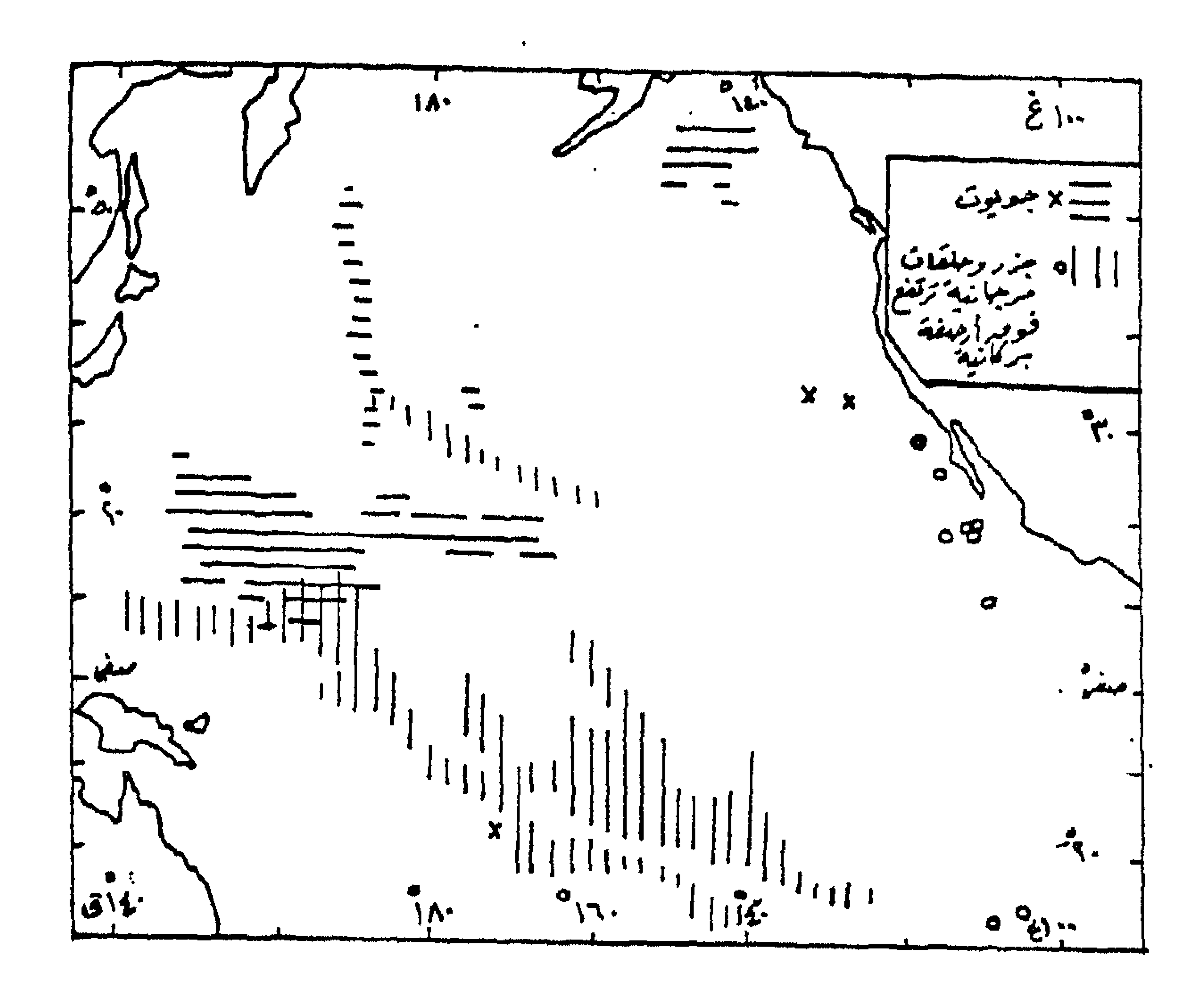
ولقد تبين من مختلف الدراسات أن هضبة أزورس تحمل فوقها عديدا من الحافات التى تمتد متعامدة مع حافة الأطلسى الوسطى ، وهى تختلف فى خصائصها عن حافات السلسلة الرئيسية فى الحافة الأطلسية. إذ تفصل بين حافات هضبة أزوريس أودية عريضة ، بينما تفصل حافات السلسلة الرئيسية أودية ضيقة ذات جوانب شديدة الانحدار .

وحينما ننظر إلى خريطة طبوغرافية قاع المحيط الهندى ، نرى حافة المحيط الوسطى تتسع اتساعا عظيما فيما بين دائرتى عرض ٣٠° ـ ٥٠° جنوبا ، وبين خطى طول ٦٥° ـ ١١٠° شرقا ، حتى ليبلغ عرضها زهاء ١٥٠٠ كيلومتر مشكّلة بذلك لما يُسمى هضبة أمستردام ـ سان بول . ولقد نعتبرها تجاوزا ضمن الهضاب البحرية .

الجبال البحرية والقمم المجدوعة (الجيوتات)

توجد بقيعان المحيطات ظواهر تضاريسية أخرى أقل عظما وأدنى شأنا ، ومنها الجبال البحرية Seamounts ، والجبال (أو القمم) البحرية المجدوعة Guyots .

ويحوى المحيط الأطلسى بعضا من الجبال البحرية ، وبعضا من الجبال المستوية القمم Guyots . لكنها ليست كثيرة . أما المحيط الهادى ، فإن هذه الأشكال تبدو عديدة ، وواسعة الانتشار .



شكل (٩٥) : توزيع الجيوتات ، والجزر ، والحلقات المرجانية .
يتركز توزيع الحلقات المرجانية فى الجزء الجنوبى الغربى من المحيط الهادى ، وعلى خط يمتد غرب الشمال الغربى من هاوى ..أما توزع الجبال البحرية فأكثر انتشارا ، رغم تواجدها بأعداد كبيرة فى الوسط ، وعلى الخصوص فى الجزء الشمالى الشرقى للمحيط ، ويتركز وجود الجيوتات فى الغرب ، وفى المنطقة الواقعة جنوبى الاسكا . وإنّ توزيع هذه الظواهر الثلاث يشير إلى أن أجزاء متباينة من الحوض المحيطى الهادى كانت نشطة بركانياً فى فترات مختلفة ، ذلك أن الظواهر الثلاث تبرز من أرصفة بركانية .

ولقد أمكن بواسطة الموجات الصوتية اكتشاف الكثير من الجزر البركانية الغارقة فوق قاع المحيط وهى من بين الجبال التى يُعبّر عنها بالجبال البحرية Seamounts .

وقد أمكن التعرف على كثير من الجبال البحرية فى خليج الاسكا التى ترتفع بقدر يتراوح بين ١٠٠٠ متر إلى ٣٧٠٠ متر فوق قاع الخليج . وبعض هذه الجبال يمثل قمما أو مخروطات بركانية ، وبعضها الآخر قد نشأ بسبب حركات التوائية .

الخلاصة :

لقد قصدنا من دراسة تضاريس الأحواض المحيطية ، بداية من الرصيف القارى (الذى يتكون من سطحين هما : الرف القارى والمنحدر القارى) إلى القاع العميق ، وتوسعنا بعض الشيئ فى دراسة تضاريسه الموجبة والسالبة ، أهدافا معلومة :

- فيما يخص موضوع الكتاب : تأتى الكوارث الطبيعية العملاقة التى تلحق الأذى بالمعمور من اليابس ، أصلا من قاع المحيط ، الذى يكون وحده ٧١٪ من جملة مساحة الكرة الأرضية .

- أعمق الزلازل وأشدها تدميرا ، تأتى من الخنادق المحيطية العميقة، وهى تهزُّ وتحرك سمك المياه كله البالغ فى المتوسط ٣٦٠٠م ، والذى يهوى إلى عمق يناهز ١٢٠٠٠ متر فى مواضع الخنادق المحيطية ، وبالتالى فإن التدمير يكون على الجزر ، وعلى اليابس المجاور ، سواء بطريق مباشر ، بالرجفات ذاتها ، أو بطريق غير مباشر ، بما تثيره من أمواج عاتية .

- فيما جاور نطاقات الزلازل العميقة تشمخُ أعلى القمم البركانية على امتداد سلاسل الجبال المحيطية العظمى ، التى على امتدادها تنبثق المواد البركانية ، وتنتشر فى كلا جانبى محور السلاسل ، التى تمتد آلاف الكيلو مترات .

- عمليات التمدّد والإنتشار فى القيعان المحيطية التى تخلق تضاريس القاع، وترفع جبال اليابس ، وتزحزح الكتل القارية وتسبب إحداث أعنف الزلازل وأشدها فتكا وتخريبا .

- معظم السلاسل والقمم الجبلية فى القاع المحيطى بركانى النشأة . وما تلفظه البراكين يُضيفُ للبيئة المحيطية ، ويُثرى محتواها من الغازات ومن المواد المغذية لمخلوقات الله فى المحيط .

الباب الرابع

باطن الأرض وغلافها الصخرى
ومناطق الحركة والاضطراب فيهما-
مسببات الكوارث

الفصل العاشر : تركيب الأرض : من نواتها الباطنية حتى غلافها الصخرى.

الفصل الحادى عشر: الزلازل وكوارثها .

الفصل الثانى عشر : البراكين وكوارثها .

الفصل العاشر
تركيب الأرض
من باطنها حتى غلافها الصخرى

أغلفة الكرة الأرضية

تدلُّ الشواهد المستقاة من دراسة الموجات الزلزالية أنه قد حدث للمواد المكونة تصنيف طبقى من حيث الكثافة ، فأكبر موادها كثافة يوجد حول المركز ، وأقلها كثافة قرب السطح . ولهذا يُعتقدُ أن الأرض قد مرّت فى المرحلة الأولى من تاريخ تكوينها بفترة كانت فيها فى حالة مُنصهرة . وفى أثناء تلك المرحلة يُقال إن الجاذبية الأرضية قد عملت على أن تستقر المواد الثقيلة عند المركز وحواليه ، تليها تجاه السطح المواد الخفيفة ، ثم الأخفّ . **وهكذا نشأت أغلفة دائرية حول النواة** تختلف فى كثافاتها .

ويحدثُ مثل هذا فى أفران صهر المعادن ، حيث يُستخلصُ المعدن من الخام ، فحينما تُصهر كتلة كبيرة من الخام ، فإن المعدن ينفصل ، ويترسب فى قاع الفرن ، نظراً لثُقله ، يليه إلى أعلا طبقة من الأكاسيد والكبريتيدات ، وهى مواد ثقيلة أيضا ، إلا أنها أخف من المعدن نفسه ، ثم على السطح نجد طبقة من المخلفات الصخرية ، وهى أخفُّها جميعا .

باطن الأرض Barysphere

يشمل باطن الأرض كل ما يقع أسفل قشرة الأرض Earth's Crust من أغلفة أرضية مرتبة حسب كثافاتها حسبما ذكرنا آنفا . وفيما يلى وصف لتلك الأغلفة من المركز حتى السطح :

١ ـ النواة Core :

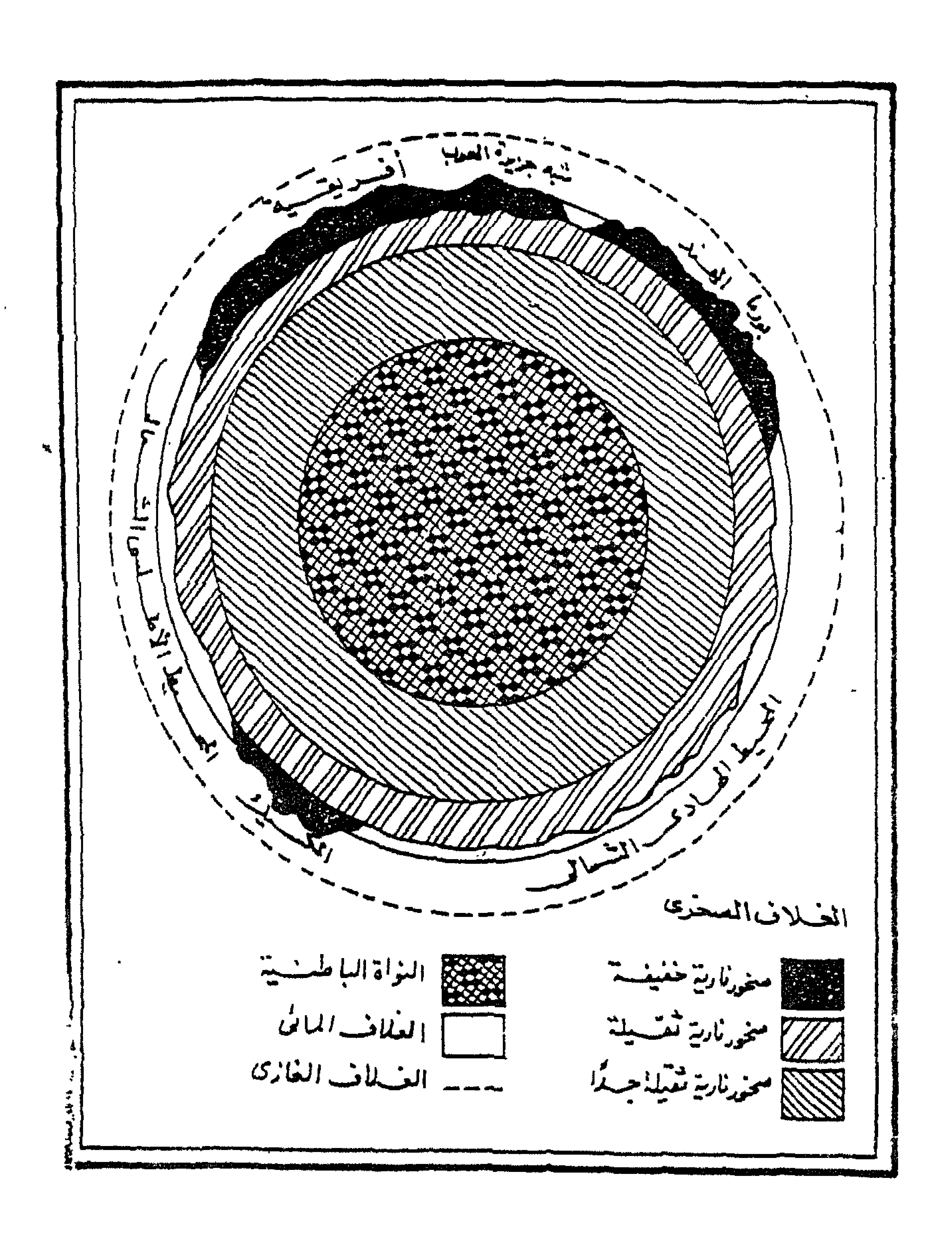
تمتد النواة من عمق ٢٩٠٠ كم حتى مركز الأرض . ويبلغ نصف قط[illegible] ٣٤٠٠ كم . ويتكون من قسمين : غلاف سميك يُسمىٌ النواة

الخارجية Outer Core ، ويحيط بنواة داخلية Inner Core يمكن أن نطلق عليها النواة المركزية Centro sphere ، ويشير سلوك الموجات الزلزالية فى مواد النواتين ، إلى أن كثافة الخارجية منهما تبلغ ٨ ، بينما كثافة الداخلية تبلغ ١١ على وجه التقريب .

ويعتقد أن النواة بقسميها الخارجى والداخلى ، والتى يبلغ قطرها نحو ٦٨٠٠ كم ، تتكون من مواد معدنية ذات كثافة عالية ، كما رأينا . وهنا ينبغى لنا أن نتساءل عما يمكن أن تكون تلك المعادن التى تدخل فى تركيب باطن الأرض ... من المعروف أن النيازك التى تتساقط موادها على الأرض أحيانا ، يتركب بعضها من الحديد والنيكل ، وبعضها الآخر من صخور داكنة ثقيلة . ولما كان يُعتقد أن تلك الأجسام الكونية والكواكب ، ومنها الأرض قد اشتقت من مواد متماثلة التركيب ، فإنه يُقال إن تركيب تلك النيازك يُلقى ضوءاً على تركيب الأرض . ومن ثم يُعتقد أن النواة المركزية للأرض بقسميها ، تتركب من الحديد والنيكل ، ولهذا تُسمى « نايف Nife» إختصاراً لكلمتى نيكل وحديد ، ومتوسط كثافتها ، كما ذكرنا ، بين ٨ و ١١ .

وهناك الآن مَنْ يرى أن النواة تختلف عن الأغلفة الأخرى التى تحيط بها بطبيعة المادة وحالتها أكثر من اختلافها عنها فى التركيب ، وهم يعتقدون أن الضغط المرتفع الذى يسود النواة ، يجعل المواد التى تتركب منها - وهى تحتوى على سيليكات - فى حالة متمعدنة Metallized State، ويعنى هذا أن قسما من الذرات قد تحطم تحت تأثير الضغط الشديد ، وفقد كمية من إليكتروناته .

هذا ويتزايد الضغط بسرعة كلما تعمقنا فى باطن الأرض : فعلى عمق كيلو متر واحد يكون الضغط ٢٧٥ وحدة ضغط جوى ، وعلى عمق ٧٠كم يصبح ١٨٩٠٠ ضغط جوى ، وعلى عمق ١٢٠٠ كم يكون ٤٠٣١٠٠ ضغط جوى ، وعند عمق ٢٩٠٠ كم يصبح ٢١٣١٠٠ ضغط جوى ، أما فى مركز الأرض فيصل مقدار الضغط نحو ٤١٦٣٤٥٠ ضغط جوى .



شكل (٩٦) : الأغلفة التى تحيط بالأرض

٢ ـ الغلاف الخارجى أو غطاء النواة أو الوشاح Mantle :

وهو يحيط بالنواة إحاطة تامة ، ويبلغ سمكه أسفل قشرة الأرض ٢٩٠٠كم ، أى حتى يلامس مكونات النواة الخارجية الليِّنة .

وينقسم الوشاح إلى غلافين : أحدهما داخلى ، والآخر خارجى .

الغلاف الداخلى من الوشاح : يمتد أسفل عمق ١٠٠٠ كم من السطح أو من الغلاف الصخرى ، إلى النواة الخارجية ، ويبلغ سمكه ١٩٠٠ كم ، ويتركب من مواد بازلتية ، ومواد معدنية معظمها أكاسيد وكبريتيدات، يبلغ متوسط كثافتها ٥,٦ . ويفسر هذا الاختلاف فى التركيب تناقص سرعة الموجات الزلزالية أسفل عمق ١٠٠٠ كم .

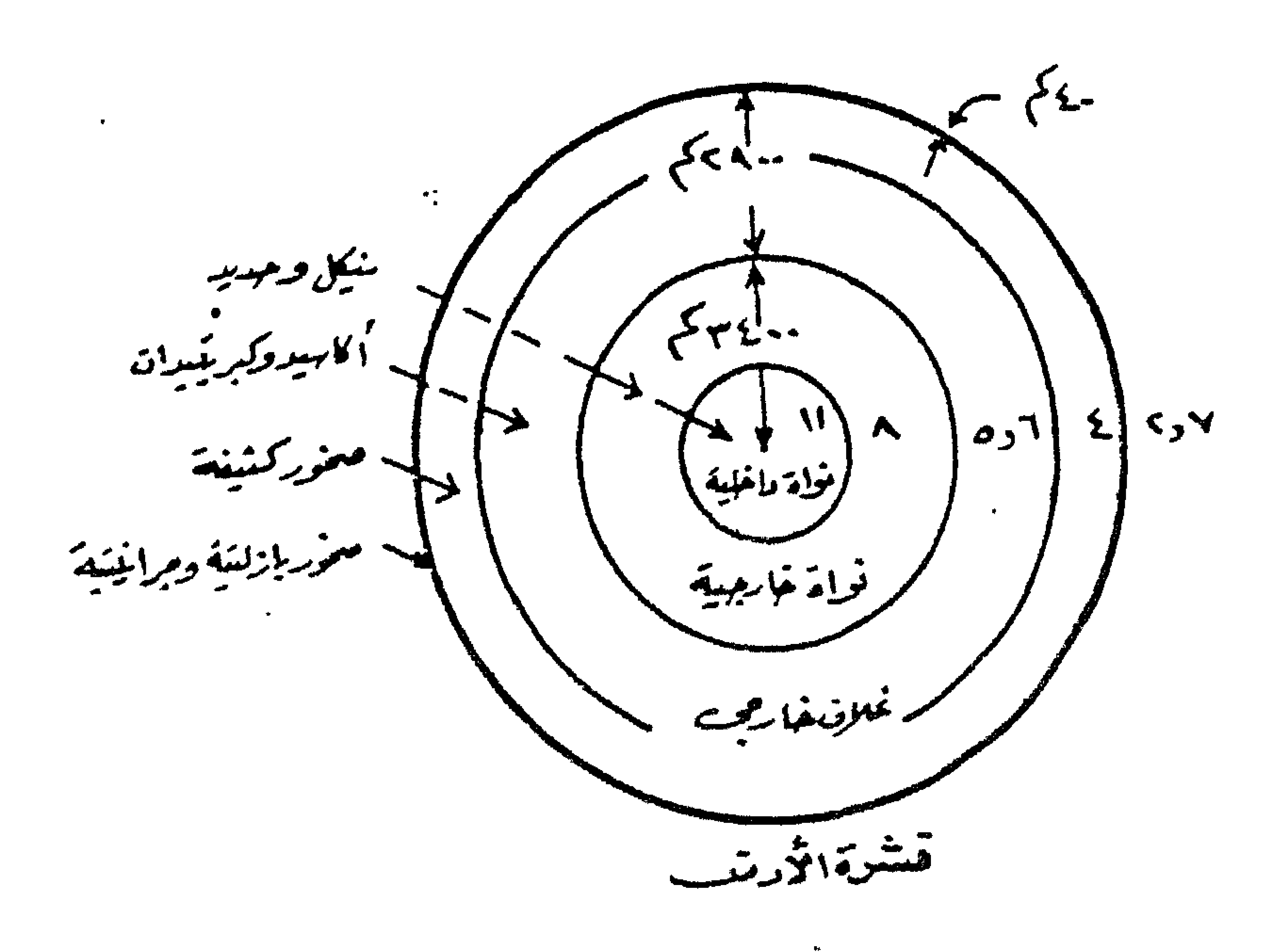
أما الغلاف الخارجى من الوشاح : فتدل الشواهد المستقاة من دراسة الموجات الزلزالية ، بأن الصخور تمتد بلا انقطاع من السطح إلى عمق ١٠٠٠ كم ، ويُعتقد أن معظم هذا الغلاف السميك يتركب من صخور داكنة اللون ، تبلغ كثافتها نحو ٤ .

وفى غطاء النواة أو الوشاح تكمن معظم الطاقة الأرضية ، وفيه تصدر القوى المسئولة عن الزلازل الرئيسية ، وعن زحزحة القارات ، وعن الحركات البانية للجبال Orogenetic Movements ، وعن تمدد وانتشار القيعان المحيطية Ocean Floor Spreading ، وعن حركة الألواح التكتونية Tectonic Plates .

٣ ـ الغلاف الصخرى Lithosphere أو قشرة الأرض Earth's Crust.

هو غلاف رقيق ، يبلغ سمكه فى المتوسط ٤٠ كم . ويتألف من طبقتين : طبقة عليا تتركب من صخور جرانيتية خفيفة ذات كثافة منخفضة ، متوسطها ٢,٧ ، وسمكها أسفل السهول القارية نحو ١٠ كم ، وأسفل السلاسل الجبلية الألبية العالية نحو ٥٠ كم ، وتتركب من سيليكات الألومنيوم ، ولذلك تُسمى « **طبقة** السيال Sial ، إختصارا لكلمتى سيليكا "Si" وألومنيوم "Al" ، وتدخل سيليكات الألومنيوم فى

تكوين اليابس بنسب عالية ، ويقل سمكها فى القيعان البحرية والمحيطية ، وتكاد تختفى فى قاع المحيط الهادى .



شكل (٩٧) : اغلفة الكرة الأرضية وتركيبها الداخلى .

وترتكز طبقة السيال على طبقة أثقل وأكثف منها تُسمى « السيما Sima» ، تتركب من سيليكات مغنسيوم ، وصخورها البازلت والجابرو ، وهى صخور قاعدية التركيب Basic ، وتبلغ كثافتها نحو ٣,٤ ، وسمكها أسفل سهول اليابس حوالى ٣٠ كم ، وأسفل الجبال الالتوائية الألبية الحديثة نحو ١٥ كم .

ويُسمى الحدُّ الفاصل بين الطبقتين باسم العالم الألمانى الذى اكتشفه ويُدعى كونراد Konrad، وتشكل طبقتا السيال والسيما (الجرانيت والبازلت) معا قشرة الأرض ، أو الغلاف الصخرى .

ويفصل طبقة السيما عن طبقة الوشاح (غطاء النواة) سطح يُسمى باسم مكتشفه اليوغسلافى A.Mohorovicic ، ويدعى سطح انفصال موهو Moho Surface of Discontinuety ، وهو يمثل مستوى انتقاليا ، يتغير عنده سلوك وسرعة الموجات الزلزالية من ٦,٧ كم / ثانية إلى ٨,١ كم / ثانية فى مواد الوشاح .

كما يفصل مواد الوشاح السفلى (الغلاف السفلى من الوشاح) عن مواد النواة الخارجية مستوى يُسمى أيضا باسم مكتشفه ، ويدُعى مستوى جوتنبرج Gutenberg عنده أيضا يتغير سلوك وسرعة الموجات الزلزالية ، نتيجة لتغير كثافة المواد .

حرارة الأرض

تزداد حرارة المواد المكونة للأرض ، أى المواد المكونة للصخور ، كلما تعمقنا تجاه مركز الأرض . وإذا كانت معلوماتنا عن حرارة الغلاف الجوى تأتى بطريق مباشر ، وذلك عن طريق القياس بمختلف الأجهزة ووسائل الرصد الحديثة ، فإن معرفتنا بحرارة داخلية الكرة الأرضية نستقيها بطرق غير مباشرة ، وذلك بواسطة دراسة الموجات الزلزالية والنشاط البركانى وقوانين الجاذبية .

وتدل المشاهدات المأخوذة عن طريق عمليات حفر الآبار العميقة للوصول إلى مخازن البترول والغاز الطبيعي والمياه الحفرية العميقة أن متوسط تزايد الحرارة بالتعمق فى باطن الأرض يبلغ درجة مئوية واحدة كلما تعمقنا ٣٣ مترا . لكن قد تبين أن هذا المتوسط لا يستمر باطراد كلما ازداد العمق فى مختلف المواقع ، فهو يزداد فى بعض الأماكن عن غيرها . ولا شك أن المتوسط الحرارى يزداد فى المناطق التى تتميز بالنشاط البركانى ، والتى تظهر بها المداخن والنافورات والفوّارات الحارة ، والبحيرات الساخنة المياه ، أو التى تغلى مياهها . مثال

ذلك منطقة بركان فيزوف قرب نابولى فى جنوب غرب إيطاليا ، حيث تصل درجة الحرارة ٨٠٠ درجة مئوية عند عمق ٢٥٠ مترا من السطح .

وهناك عاملان مسئولان عن ارتفاع حرارة مواد ما تحت سطح الأرض ، وعن اطراد الزيادة فى الحرارة بالاتجاه نحو المركز هما :

١ ـ ازدياد الضغط بالتعمق فى باطن الأرض ، وقد رأينا أن هذا الضغط يزيد على أربعة ملايين ضغط جوى عند المركز .

٢ ـ احتواء المواد المكونة لجسم الارض على عناصر مشعة تبعث الحرارة فى الأرض Radioactive Elements ، منها : الراديوم ، واليورانيوم ، والثوريوم ، والبوتاسيوم . فهذه جميعا تطلق طاقة حرارية ضخمة عندما تتحلل ، وتتحوّل إلى عناصر خاملة . وحيثما كثرت هذه العناصر فى قسم من باطن الأرض فإنها تحوّله إلى مواد سائلة ، تُعرف باسم أفران الصهير أو أفران الماجما Magma Herd أو Magma Chambre .

من هذا نرى أن حرارة الأرض ذات مصدرين هما الضغط والنشاط المشع ، ولو أننا حسبنا ازدياد حرارة الأرض بالمعدل الآنف الذكر ، وهو درجة مئوية كلما تعمقنا نحو المركز ٣٣ مترا ، لوصلنا لرقم يصل إلى رقم يناهز ٢٠٠ ألف درجة مئوية ، وذلك بتأثير الضغط وحده ، فإذا أضفنا لذلك ما يُضيفه النشاط الإشعاعى من طاقة حرارية ، إذن لوصلت حرارة الأرض إلى أرقام تُخرجها من زمرة الكواكب ، وتحوّلها لجسم غازى .

ولهذا يرى كثير من البحاث أن أقصى حرارة يبلغها أى جزء فى باطن الأرض لا يزيد على عشرة الاف درجة مئوية ، وأن حرارة الوشاح فى حدود خمسة الاف درجة مئوية .

تركيب الغلاف الصخرى

(قشرة الأرض)

تتركب قشرة الأرض كيماويا من ٩٥ عنصرا ، لكن معظمها نادر الوجود . وأكثر العناصر شيوعا وانتشارا تسعة . وهذه تكون نحو ٩٨٪ من وزن قشرة الأرض . ويأتى الاوكسجين فى المقدمة وتبلغ حصته حوالى النصف . يليه السيليكون . وهما معا يمثلان نحو ثلاثة أرباع وزن الغلاف الصخرى . ولا يوجد من العناصر المعروفة فى حالته العنصرية الأصلية سوى القليل ، ومنها الذهب والبلاتين والفضة والنحاس والكبريت . أما معظم العناصر التى تحتويها قشرة الأرض فتوجد متحدة فى صورة مركبات كيماوية متجانسة تعرف بالمعادن .

الصخور

الصخور التى تتألف منها قشرة الأرض عبارة عن مركب معدنى ينشأ عن اندماج مجموعة من المعادن . وقد يتركب الصخر من معدن واحد كالرخام . ولكن الأغلب والأعم أن يتكون الصخر من مجموعة من المعادن كصخر الجرانيت .

تقسيم الصخور :

يمكن تقسيم الصخور بناء على أصل نشأتها إلى ثلاث مجموعات هى :

١ ـ الصخور النارية ٢ ـ الصخور الرسوبية ٣ ـ الصخور المتحولة.

أولا ـ الصخور النارية :

كانت فى أول أمرها منصهرة لشدة حرارتها ، ثم تأثرت بالبرودة فتصلبت . وتسمى بالصخور الأولية لأنها الصخور التى اشتقت منها الصخور الأخرى . وهى فى مجموعها عبارة عن بلورات من معادن مختلفة يتماسك بعضها مع بعض تماسكا شديدا . والصخور النارية

بصفة عامة شديدة الصلابة ، عديمة المسام ، لهذا لا تسمح بتسرب المياه خلالها . وهى مندمجة غير طباقية . ولا تحوى أى أثر من مظاهر الحياة ، انها تكونت من صهير شديد الحرارة ، يستحيل على أى كائن حى ان يعيش فوقه .

وتختلف الصخور النارية من ناحية **طريقة تكوينها وأصل نشأتها:**

فمنها الصخور الجوفية أو العميقة :

وهى الصخور التى تكونت نتيجة لتصلب الصهير فى أعماق بعيدة عن سطح الأرض ، حيث سمحت ظروف الحرارة والضغط بعمليات تبلور تام لمكونات المواد المنصهرة ، وذلك نتيجة للتبريد البطئ والضغط المستمر. ولهذا تبدو المعادن المكونة للصخور الجوفية فى شكل بلورات كبيرة الحجم متساوية النمو متناسقة الترتيب . وتبدو هذه الصخور حينئذ كاملة التبلور كبيرة الحبيبات .

فأنت اذا تناولت قطعة من صخر الجرانيت وهو من الصخور الجوفية فإنك ترى بلوراته فى شكل حبيبات من معدن الكوارتز الرمادى اللون ، ومن معادن الفلسبار الوردية البراقة .

ومنها الصخور الطفحية :

وهناك نوع آخر من الصخور النارية يعرف بالصخور **الطفحية** أو **البركانية** وهى التى نشأت من تصلب كتل الصهير التى انبعثت وفاضت على سطح الأرض . ويحدث ذلك حين يتدفق الصهير من فوهات البراكين النشطة ، أو من الشقوق والكسور التى يصادفها أثناء صعوده إلى سطح الأرض . وتتصلب هذه المواد المنصهرة التى تعرف باللافا بسرعة كبيرة نتيجة لتعرضها للجو ، ومن ثم لا يعطى ذراتها الفرصة الكافية لأن تتخذ الشكل البلورى .

فاذا تناولت قطعة من البازلت ، وهو صخر طفحى أو بركانى ، وجدته يتركب من كتلة متشابهة زجاجية المظهر ، عديمة التبلور سوداء اللون .

ثانيا- الصخور الرسوبية :

تتميز الصخور الرسوبية عن الصخور النارية بأنها تنشأ فوق سطح الغلاف الصخرى نتيجة لتأثير العوامل الظاهرية (عوامل التعرية) وفعل الكائنات العضوية .

وبينما يتركب جوف الغلاف الصخرى كلية من الصخور النارية ، نجد أن ٧٠٪ من كتلة سطحه تتركب من الصخور الرسوبية . ويتباين سمك الطبقات الرسوبية من مكان لآخر وهو عموما ليس كبيرا : ففى بعض المناطق لا يتجاوز بضع عشرات أو مئات من الأمتار ، وفى مناطق أخرى قد يصل إلى بضع الاف من الأمتار .

وتوجد بعض الصخور الرسوبية فى حالة مفككة هشة ، وبعضها الآخر فى حالة اندماج أو صلابة . فالرمال المفككة حين تندمج بمادة لاحمة تتحول إلى صخر رملى ، والحصى حين يلتحم يصير إلى صخر المجمعات (كونجلوميرات) وتتباين المواد اللاحمة فى تركيبها ، ويتكون معظمها من مركبات كيميائية مختلفة تترسب فى المياه التى تجرى وتتخلل الرواسب فتعمل على تماسكها . فقد تتركب من كربونات الكالسيوم ، أو من السيليكا ، أو من أكاسيد الحديد ، أو قد تتكون من مجرد مادة صلصالية .

والصخر الرسوبى يحتوى على كثير من المسام التى تتخلل حبيباته. ولتقرير المسامية أهمية كبرى من الوجهة الاقتصادية والعلمية ، اذ أن لها دلالتها الخاصة من حيث درجة استطاعتها لانفاذ المياه أو البترول.

وتتصف الصخور الرسوبية عادة بالطباقية ، أى انها تتكون من طبقات بعضها فوق بعض ، ويرتبط تكوين الطبقة بظروف وطبيعة الارساب ، فإذا حدث تغير فى هذه الظروف لترتب عليه تغير فى مادة الارساب ، وبالتالى تنشأ طبقة رسوبية جديدة . وهكذا نجد الصخور وقد تكونت من عدة طبقات متباينة بعضها فوق بعض .

وتتميز الصخور الرسوبية أيضا باحتوائها على بقايا عضوية حيوانية ونباتية تدل على نوع الحياة التى كانت سائدة فوقها والبيئة التى تكونت فيها ، ويستعان بتلك البقايا العضوية فى تحديد عمر الطبقات والتعرف على العصور والأزمنة الجيولوجية .

ويمكن تقسيم الصخور الرسوبية بناء على أصل نشأتها إلى الأقسام الرئيسية الثلاثة الآتية :

١ - صخور رسوبية ميكانيكية :

وهذه تدين بنشأتها إلى تحطيم الصخور الأصلية التى سبق وجودها تحطيما طبيعيا ، ثم تراكم الحطام الصخرى وتماسكه دون أن يطرأ عليه أى تغير كيميائى . ويتم تحطيم الصخور ونقلها ثم إرسابها بواسطة عوامل التعرية كالرياح والماء الجارى والجليد المتحرك .

ومن هذه الصخور ما هو كبير الحبيبات ومثلها صخر **المجموعات الحصوية المستديرة أو الكونجلوميرات** . ومنها ما هو متوسط حجم الحبيبات وتعرف عادة **بالصخور الرملية** التى تتسم عادة بالصلابة ومقاومة عوامل التعرية ، خصوصا لو كانت المادة اللاحمة وفيرة ، وكانت من نوع يتحمل فعل التعرية كالسيليكا ، ومنها ما هو دقيق الحبيبات **كالصخور الطينية** .

٢ - صخور رسوبية كيميائية :

وتتكون من عمليات الترسيب التى تنشأ من محاليل تحتوى على مواد مذابة عندما ترتفع درجة تركيزها ، أو قد تتكون الرواسب نتيجة تفاعل كيميائى بين مكونات هذه المحاليل .

ومنها **الصخور الجيرية** التى تتكون نتيجة ترسيب كربونات الكالسيوم من المحاليل الجيرية . **والصخور السيليكية** وتتكون من ترسيب مادة السيليكا ومثلها صخر الصوان . ومنها أيضا **الصخور الملحية** التى تنشأ من تبخر مياه البحيرات والبحار المقفلة وأهمها **الجبس والملح**

الصخرى . وتوجد الرواسب الملحية فى مناطق متعددة من العالم ، ففى مصر توجد فى ملاحات إدكو ورشيد والمكس وفى وادى النطرون ، كما توجد حول شواطئ البحر الميت ، وفى سبخات المغرب العربى .

٣ ـ الصخور العضوية :

وتنشأ نتيجة لتراكم بقايا الكائنات الحية حيوانية ونباتية فى طبقات سميكة ، ثم تحللها بمرور الزمن وتماسكها مع بعضها فى هيئة صخور وهى **قسمان :**

(أ) صخور عضوية حيوانية :

وتتكون من مواد عضوية حيوانية بعضها جيرى ، وينشأ منها تكوين عدد من الصخور تسمى بأسماء الحيوانات التى اشتقت منها ، ومثلها الصخر الجيرى المرجانى والحجر الطباشيرى ، وصخر الفوسفات الذى ينشأ من ترسب عظام الاسماك والزواحف وتحللها . ويوجد الفوسفات فى بعض الواحات المصرية ، كما يوجد فى المغرب العربى .

(ب) صخور عضوية نباتية :

وتنشأ من بقايا النباتات التى تتعفن وتتحلل ثم تتفحم . ومن أكثر الرسوبيات الفحمية شهرة وشيوعا الفحم القطرانى والفحم البنى .

ثالثا : الصخور المتحولة :

هى صخور كانت فى الأصل صخورا نارية أو رسوبية ، ثم تغير تركيبها المعدنى والكيميائى كما تغير نسيجها ومظهرها . ويحدث هذا التغير نتيجة لتأثير عمليات تحدث فى جوف الغلاف الصخرى تسمى **بعمليات التحول** ، التى تنشأ نتيجة لتغيرات فى البيئة الجيولوجية التى يوجد فيها الصخر الأصلى كأن يعانى من ضغط شديد أو حرارة مرتفعة أو من كليهما معا .

وقد يختلط الصخر المتحول ببعض آثار صفات الصخر الأصلى

الذى اشتق منه ، ولكن عادة ما نجد أن التغير كان من الشدة بحيث تتلاشى فى الصخر المتحول كل المميزات التى كان يتصف بها الصخر القديم . فالصخور الرسوبية تشتد صلابتها عندما تتحول نتيجة لازدياد تبلورها ، فتتلاشى طباقيتها ، وتختفى بقايا الكائنات العضوية التى تحترق بواسطة الحرارة الشديدة . أما الصخور النارية فتتغير مظهرها ونسيجها ، وتنتظم بلوراتها فى ترتيب أخر يتلاءم مع الظروف الجديدة .

عوامل التحول :

هى الحرارة والضغط أو كلاهما . وتتعرض الصخور لتأثير هذه العوامل فى الحالات الآتية :

١ ـ عند ملامسة الصخور لمواد الصهير الحارة المتداخلة . ويكون التأثير الحرارى على أشده فى الصخور المجاورة للصهير . ويقل تدريجيا بعيدا عن منطقة الاحتكاك . ويتوقف نوع الصخر المتحول بالحرارة على نوع صخور المكان الأصلية ، وعلى التركيب الكيميائى للمادة المنصهرة المتداخلة .

فمثلا يتحول الحجر الرملى إلى صخر أصلب منه وأشد اندماجا يعرف باسم **كوارتزيت** الذى يتميز بحبيبات متبلورة من الكوارتز أكبر نسبيا من حبيبات الرمل الأصلية ، وتتحول الصخور الطينية إلى صخور أشد صلابة تسمى بالصخور **الرنانة** . وأما الصخور الجيرية فتتحول إلى **رخام** . ويسمى هذا التحول **بالتحول الحرارى** .

٢ ـ حينما تتعرض الصخور لاضطرابات أرضية فتتعرض بسببها لضغط وحرارة شديدين . وغالبا ما يؤدى هذا النوع من التحول إلى إعادة ترتيب المعادن المكونة للصخور الأصلية رسوبية أو نارية فى نظام جديد . وقد تشتد وطأة التحول فتزول معالم الصخر الأصلى تماما .

وينشأ عن التحول بالحرارة والضغط معا صخور عدة ، بعضها من أصل رسوبى **كالإردواز** (متحول من الطفل) ، وبعضها الآخر من أصل

رسوبى أو نارى كصخور **النيس والشست** وهما من أكثر الصخور المتحولة شيوعا وانتشارا .

وتتميز الصخور المتحولة عموما بأنها متبلورة ، وهى تبدو فى شكل طباقى أو ما يشبهه ، نتيجة لتعاقب وجود ما يشبه الطبقات من معادن مختلفة فنجد مثلا فى صخر النيس طبقات بيضاء من معدن الكوارتز تتعاقب مع طبقات أو شرائح من المعادن السوداء .

وتوجد الصخور المتحولة فى أنحاء متفرقة من العالم العربى ، ويكثر وجودها خصوصا النيس فى جبال البحر الأحمر وفى جنوب شبه جزيرة سيناء .

التاريخ الجيولوجى للأرض

نحن نفكر فى التاريخ البشرى بوحدات زمنية قوامها القرون والاجيال والسنين . ومثل هذا التقسيم الزمنى لازم وضرورى لتنظيم أفكارنا ، ولربط الأحداث الماضية فى مختلف أوجه النشاط البشرى ، وفى مختلف الأماكن بعضها ببعض . وبنفس الطريقة يلزم لتاريخ الأرض الطويل تقسيمات زمنية تقدر بعشرات ومئات الملايين من السنين ، إذ لا تجدى فى ادراكها وتصورها الوحدات الزمنية التى نستخدمها كالسنين أو الاجيال أو القرون أو حتى الاف السنين .

تقدير عمر الأرض :

لقد استخدم العلماء طرقا شتى لتقدير عمر الارض ووصلوا بواسطتها إلى نتائج متباينة ، ومن أهمها ما يأتى :

١ - تقدير سمك الطبقات الرسوبية ، ثم تقدير متوسط الرواسب التى يمكن أن تتراكم فى كل عام ، وبقسمة الرقم الأول على الرقم الثانى أمكن الوصول إلى تقدير عمر الأرض . وقد وجد أن متوسط سمك ما

يتم ارسابه من التكوينات سنويا هو ١٥/١ من السنتيمتر الواحد .
ومن ثم أمكن تقدير عمر الأرض بنحو ١٦٥ مليون سنة .

وهذه الطريقة فى الواقع لا يمكن الاعتماد عليها فى تقدير معقول لعمر الارض ، وذلك لسببين هامين هما :

أولهما : أن معدل الارساب يختلف من مكان لآخر باختلاف الظروف والاحوال .

ثانيهما : أن الطبقات الرسوبية تتعرض للنحت والاكتساح بواسطة عوامل التعرية ، ومن ثم يصعب تقدير السمك الحقيقى للرواسب الاصلية .

٢ ـ وجد حديثا أن خير وسيلة لتقدير عمر الأرض هى استخدام العناصر المشعة التى تحتويها معادن وصخور قشرة الأرض . فعنصر اليوارنيوم والثوريوم يتحللان بالاشعاع بمرور الزمن ، ويتحولان إلى غاز الهيليوم وعنصر الرصاص . ولما كانت سرعة التحلل من الوجهة الزمنية معروفة لدى العلماء فانه أصبح من الممكن تحديد عمر الصخر أو المعدن الذى يحتوى على العنصر المشع وعلى مخلفاته . وبهذه الطريقة تمكن العلماء من تقدير عمر الأرض منذ بداية الزمن الاركى بنحو ٢١٠٠ مليون سنة . كما قدروا عمر تصلب قشرة الأرض بنحو ٣٢٠٠ مليون سنة ، وعمر الأرض منذ انفصالها واستقلالها بنحو ٦٠٠٠ مليون سنة .

التاريخ الجيولوجى للأرض :

لقد أجمع الجيولوجيون على تقسيم عمر الأرض إلى أربعة أزمنة ، كل زمن منها ينقسم بدوره إلى عدة عصور . ويمتاز كل زمن وكل عصر بمجموعة من الطبقات الصخرية وبحياة حيوانية ونباتية تختص به وتميزه عن غيره .

وقد تمكن العلماء من وضع جدول كامل للتكوينات الرسوبية

بحسب الأمنة والعصور وهو يهدف إلى ترتيب الاحداث الجيولوجية ترتيبا زمنيا منذ تكوين الأرض إلى عصرنا الحاضر . وقد استعانوا فى ذلك بأساسين هامين هما :

١ - تعاقب الطبقات :

هناك قاعدة أساسية تختص بالصخور الرسوبية دون سواها ، ومؤداها أن كل طبقة تعتبر أقدم من الطبقة التى تعلوها ، وأحدث من الطبقة التى تقع أسفلها . وتسمى هذه القاعدة بقانون تعاقب الطبقات .

على أن تطبيق هذه القاعدة له عيوبه . ففى الجهات التى أصابتها حركات الالتواء والانكسار نجد الطبقات الصخرية قد انقلبت ظهرا على عقب ، وبالتالى يختل توافقها وتتابعها الزمنى . ولهذا فقد لجأ العلماء إلى الاستعانة بالحفريات للوصول إلى تحديد التعاقب الزمنى للأحداث الجيولوجية .

٢ - الحفريات :

هى بقايا الكائنات الحية سواء كانت حيوانية أو نباتية التى يعثر عليها فى تكوينات الصخور الرسوبية ، وهى تعتبر الدليل المباشر على وجود الكائنات الحية فى سالف الزمن . وتتمثل هذه البقايا فى أجزاء صلبة مثل المحارات وهياكل المرجان وعظام الحيوانات الفقارية ، كما تتمثل فى جذوع النباتات وأوراقه .

وعلى الرغم من أن هذه الحفريات لا تعطى الصورة الكاملة للكائنات الحية القديمة ، الا أن دراسة خصائصها ومميزاتها تُساعدُ مساعدة فعالة فى تقسيم التاريخ الجيولوجي للأرض . ولذلك فهى تعرف أحيانا بالحفريات المرشدة ، لأنها ترشد الجيولوجى إلى طبيعة الزمن أو العصر الذى عاشت فيه .

ولكى تتحول الكائنات الحية إلى حفريات يلزم لها شرطان :

الأول : أن تحتوى على أجزاء صلبة لكى تقاوم عوامل التحلل والفناء ، وبالتالى فإن الحيوانات الرخوة مثل أسماك الجيلى لا تترك أثرا بعد موتها وتحللها .

والثانى : أن يندفن الحيوان أو النبات فى الرواسب بمجرد موته ، وإلا تعرض للتمزق ثم التشتت والفناء بواسطة عوامل التعرية .

أهمية الحفريات :

للحفريات دلالات وفوائد كثيرة أهمها :

١ ـ تحديد عمر الطبقات الصخرية التى تحتويها ، ومعرفة العصر الذى كانت تعيش فيه . والحفريات هى الاساس الذى يعتمد عليه الجيولوجيون فى عمل تاريخ متكامل لعمر الأرض .

٢ ـ يمكن عن طريق دراسة الحفريات الاستدلال على البيئة الجغرافية القديمة التى كانت تعيش فيها . وعلى الظروف المناخية التى كانت سائدة أثناء وجود الكائن الحى فى مكان معين ، فحفريات أشجار النخيل مثلا تدل على شيوع مناخ حار .

٣ ـ أمكن بواسطة الحفريات الاستدلال على التطور الذى حدث للكائنات الحية منذ أقدم الأزمنة حتى عصرنا الحالى . فالحيوان قد بدأ بخلية واحدة ، وانتهى بأرقى الأنواع وهو الانسان ، كما تطورت النباتات البدائية وارتقت إلى النباتات المزهرة الحالية .

أقسام التاريخ الجيولوجى للأرض :

قسم الجيولوجيون تاريخ الكرة الأرضية إلى أربعة أزمنة كبرى هى من القديم إلى الحديث كما يلى :

١ ـ الزمن الأركى أو زمن ما قبل الكمبرى .

٢ ـ الزمن الباليوزى أو زمن الحياة القديمة .

٣ ـ الزمن الميزوزوى أو زمن الحياة الوسطى .

٤ ـ الزمن الكاينوزوى أو زمن الحياة الحديثة .

وقد أمكن تقسيم كل زمن إلى وحدات زمنية أصغر ، وذلك لتسهيل الدراسة الجيولوجية ، وللمساعدة على متابعة التعاقب الزمنى . مثال ذلك زمن الحياة الحديثة الذى يمكن تقسيمه إلى قسمين ، يعرف أحدهما بالثالث أو الثلاثى (أقدم) ويعرف الأحدث بالرابع أو الرباعى ، وكل منهما يختص بمميزات معينة .

وقد أمكن أيضا عن طريق دراسة تغير الحفريات وتدرجها وتطورها تقسيم الأزمنة إلى عصور ، والعصور إلى عهود .

وعندما ندرس الأزمنة والعصور الجيولوجية ينبغى أن نلاحظ الأمور الآتية :

١ ـ أن الأزمنة والعصور ليست متساوية فى الطول . فبعضها طويل جدا كالزمن الأركى ، وبعضها قصير نوعا كزمن الحياة الحديثة .

٢ ـ أن لكل زمن ولكل عصر حفرياته وتكويناته الخاصة به والتى تميزه عن غيره .

٣ ـ أن فترات الانتقال من زمن لآخر قد صحبتها عموما حركات أرضية أنشأت الجبال والهضاب ، وغيرت من معالم سطح الأرض ، كما نتج عنها تغيير كبير فى أنواع الكائنات الحية .

٤ ـ الاختلاف في أسماء العصور . اذ فضلا عن أن الاختلاف فى التسمية له أهميته البديهية كاختلاف أسماء البشر فإن له دلالاته الخاصة . فقد يسمى العصر بحسب قدمه أو حداثته بالنسبة لعصر آخر ، مثال ذلك عصر الأوليجوسين معناه العصر الأقل حداثة ، بينما عصر البلايوستوسين معناه العصر الأكثر حداثه ، وهكذا فى كل أسماء عصور زمن الحياة الحديثة فكل اسم منها يدل على نسبة العصر فى الحداثة .

وقد يسمى العصر باسم مجموعة عصور بشرية كعصر الأوردوفيش والسليورى ، وقد سميا باسمى قبيلتين قديمتين كانتا تعيشان فى ويلز .

الأزمنة والأعصر الجيولوجية

الزمن Era	مميزاته	العصر Period	مميزاته

نشأة الكرة الأرضية

فترة طويلة مجهولة

الزمن Era	مميزاته	العصر Period	مميزاته
ما قبل الكامبرى Pre - Cambrian		الأركى Archean	صخور نارية ومتحولة . ينعدم وجود حفريات حيوانية ونباتية . يشهد وجود صخور الرخام (صخور متحولة عن أصل جيرى) والجرانيت فى المستوى العلوى من التكوينات على وجود مملكة حيوانية .
		البروتيروزوى Proterozoic	صخور نارية ومتحولة . بقايا نادرة لحيوانات بحرية اسفنجية وأعشاب .
الحياة القديمة (باليوزى) Paleozoic أو الزمن الأول Primary	شاع وجود الحيوانات اللافقرية فى البحار . ظهور الحيوانات اللافقرية والفقرية الدنيئة فوق اليابس . نمو سريع للنباتات الدنيئة، حركات التوائية مكونة للجبال	الكمبرى Cambrian	الحفريات الحيوانية والنباتية فوق اليابس مجهولة . أهم الحفريات هى ثلاثية الفصوص Trilobites. ظهور الاسفنجيات ، والأسماك البدائية ، والديدان والمسرجيات Brachiopods والحيوانات ذات الضلفتين Bivalves،

الزمن Era	مميزاته	العصر Period	مميزاته
	فى أواسطه (الالتواءات الكاليدونية) وفى أواخره (الالتواءات الهرسينية) .		والحيوانات الرأس قدمية Cephalopods. وكلها حيوانات لافقرية . عصر جليدى . نشاط بركانى ضعيف .
		الأردوفيسى Ordovician	تطور ثلاثيات الفصوص والمعشقات Articulates ، والمسرجيات فى البحار . ظهور مفصليات بحرية ضخمة Arthropods . بداية نمو سريع للمرجانيات فى أواخر العصر . ظهور المفصليات البرية الاولى .
		السيلورى Silurian	نمو سريع وتطور لثلاثيات الفصوص والحيوانات المرجانية والكراينويدات Crinoids ، وفصائل من مجموعة الحيوانات الرأس قدمية . تطور فى الأسماك والقنافذ البحرية . طغيان البحر على اليابس فى أوائل هذا العصر وانحساره فى أواخره . نشاط بركانى عنيف . حركة الالتواءات الكاليدونية .

الزمن Era	مميزاته	العصر Period	مميزاته
		الديفونى Devoinan	تطور جديد فى الأسماك . نمو سريع فى الأمونويدات Ammonoids . وفرة نباتات برية دنيئة . تكرار طغيان البحر وانحساره عن اليابس . مناخ مدارى فى العروض العليا .
		الفحمى Carboniferous	اختفاء ثلاثيات الفصوص وبعض فصائل الأسماك . نمو الغابات والنباتات الاولية بغزارة فوق اليابس . ظهور الحيوانات البرمائيةAmphibians والزواحف الضخمة Reptiles. كثرة وجود الحشرات . تراكم الرواسب الفحمية . نشاط بركانى عنيف .مناخ مدارى فى العروض العليا . بدء حركة الالتواءات الهرسينية . عصر جليدى فى القارات الجنوبية فى ختام هذا العصر .
		البرمى Permain	اختفاء ثلاثيات الفصوص وبعض فصائل المرجانيات من البحر . نمو بعض فصائل الأسماك والأمونوييدات . ازدهار فصيلة الديبنوى Dipnoi من الأسماك فى مياه اليابس. انحسار المياه عن اليابس وازدياد النشاط البركانى . ختام فترة الالتواءات الهرسينية بظهور مرتفعات الأورال وتيان شان . تراكم جليدى كثيف فوق المناطق الاستوائية ، وتراكم الأملاح فى اراضى العروض المعتدلة .

الزمن Era	مميزاته	العصر Period	مميزاته
الحياة الوسطى (ميزوزوى) Mesozoic أو الزمن الثانى Secondary	تراكم رسوبيات صخرية . ازدهار الأمونايتات Ammonites (من مجموعة الرأس قدمية) ، والحيوانات البرمائية ، والزواحف . ظهور الأسماك ذات الهيكل العظمى لأول مرة	الترياسى Triassic	ظهور أسلاف الحيوانات المرجانية الحديثة . فوق اليابس: ظهور الزواحف العملاقة كالديناصور Dinasaur والسلحفاة والتماسيح. ظهور الثدييات الأولية متطورة من الزواحف انحسار عظيم للبحر عن اليابس. مناخ شبه مدارى . صحارى واسعة .
	فوق اليابس : بداية ظهور الطيور والفراشات والنباتات المزهرة .	الجوراسى Jurassic	فى البحر : تطور الأمونويدات وتحولها إلى أمونايتات . ظهور القنافذ البحرية غير المتماثلة . فوق اليابس : ازدهار الزواحف العملاقة .ظهور الضفادع والطيور الأولية ، والفراشات . طغيان عظيم للبحر على اليابس. حركة تكوين الجبال السيميرية Cimmerian تمايز النطاقات المناخية .
		الكريتاسى Cretaceous	فى البحر : اختفاء الأمونيتات فى أواخر هذا العصر . فوق اليابس : ظهور السحالى وأشباه الثعابين ، والتماسيح الحديثة . اختفاء الزواحف العملاقة والديناصور . ظهور النباتات المزهرة ، ونمو الحيوانات الثديية الأولية . طغيان عظيم للبحر على اليابس فى أواسط هذا العصر .

الزمن Era	مميزاته	العصر Period	مميزاته
الزمن الثالث Tertiary	ارسـاب صـخـور طباقيـة طفوح لافا هائلة . طغيانات وانحسارات بحرية عظيمة . تـكويـن تـدريـجـى للقـارات الـحـديثة ، حـركـات تكوين الالتواءات الألبية .	باليوجين Paleogene باليوسين Paleocene ايوسين Eocene اوليجوسين Oligocene	فى البـحـر : ازدهار الأسـمـاك الفـقـرية . اقـتـراب الرخـويات Molusks من اشكالها الحديثة . فـوق اليـابس : استـمـرار وجـود الثعابين والسحالى القديمة . تضخم أحجام الحيوانات الثديية . تمايز المناخ . حركة الالتواءات الألبية .
الحياة الحديثة الزمن الرابع Quarternary		نيوجين Neogene مايوسين Miocene بلايوسين Pliocene	الحـيـوانات البـحـرية تقـتـرب من أشكالها الحديثة . ظهور كثير من فصائل الحيوانات الثديية البحرية . بدأت الـثـدييـات الضـخـمـة فى الانقـــراض من فـوق اليـابس . ظهور القـردة العليا . نهاية حـركة الالتواءات الألبية .
		بلايوستوسين Pleistocene أو العصر الجليدى	ظهور الانسان فى بدايته . اتـخـذت القـارات والمحـيـطات توزيعها الحالى تقريبا . انخفاض درجات الحرارة وزيادة التسـاقط فى شكل ثلج وتكوين فترات جليدية تعاقبت مع فـترات دفيئة .
		الحالى Recent or Holocene	الانسان الحديث .

تفسير نشأة القارات والمحيطات

(بعض النظريات الجيوتكتونية)

لقد اعترف بعض الجيولوجيين بثبات القارات والمحيطات ، ولكن الكثيرين منهم يؤمنون بتحركها وعدم ثباتها . وهناك نظريات عديدة تتناول هذا الموضوع بالدراسة والتحليل ، بعضها قديم تناوله الباحثون بالتعديل والتحوير ، وبعضها الآخر حديث . ولعله من المفيد هنا وقد درسنا تكوين الأرض وتوزيع اليابس والماء ، أن نعرض لبعض تلك النظريات والآراء التي تعيننا على تفهم التطور الذى عاناه سطح الأرض أثناء تاريخه الطويل .

ويرجع السبب فى استمرار ظهور نظريات جديدة إلى قصور سوالفها عن تفسير ظاهرة أو أخرى من ظاهرات سطح الأرض . فنظرية الانكماش التى ترجع تجعُّد وتضرُّس قشرة الأرض إلى برودة الباطن ، تعتبر الآن غير كافية لتفسير كثير من أشكال التضاريس الكبرى التى نراها فى الوقت الحاضر . ونحن لا نشك فى أن المرتفعات العظيمة قد نشأت عن ضغوط غاية فى القوة ، فقد قدّر كايث Keith مقدار الانكماش الذى حدث فى قشرة الأرض لتنشأ مرتفعات الأبلاش بنحو ٣٢٠ كيلو متراً ، كما قدر البرت هايم A. Heim وآخرون مقدار اقتضاب القشرة لتتكون مرتفعات الألب بنحو ٣٠٠ كم ، وهو تقدير فيه الكثير من التحفظ. وكلما ازدادت معرفة العلماء ببناء تلك المرتفعات كلما ارتفعت أرقام تلك التقديرات وأمثالها : فقشرة الأرض إذن قد عانت الكثير من التقلص والإنضغاط حين تجعُّدها لتنشأ المرتفعات .

فهل نظرية الانكماش كافية لتفسير ذلك ، أم ينبغى أن نفترض حدوث حركة أو حركات معينة بين القارات ساهمت فى رفع قشرة الأرض هنا وهناك ؟

وعدا هذا تبرز مشكلات تختص بتوزيع النبات والحيوان . فهناك

ـصائل حيوية معينة يتكرر وجودها فى مناطق تبعد عن بعضها بعداً شاسعاً . فكيف تأتّى لها أن تنتشر فى تلك المناطق المتباعدة ؟ هل كانت تلك المناطق متصلة ببعضها بواسطة يابس هبط فغمرته مياه المحيطات واختفى تحت سطحها ، أم كانت تلك المناطق ملتحمة متلاصقة ثم انفصلت وتزحزحت بعيداً عنها ؟

وهناك أيضاً مشاكل ترتبط بتوزيع مخلفات العصر الجليدى الذى حدث فى أواخر العصر الفحمى . فقد عثر على تلك المخلفات فى قارة أستراليا وفى الهند . وفى وسط وشمال قارة آسيا ، وفى القسم الجنوبى من قارة أفريقيا ، وفى جزر فالك لاند Falkland ، وفى أمريكا الجنوبية . وتدل الشواهد على أن الجليد فى ذلك العصر قد انتشر فى بعض المناطق من مصدر جنوبى ، كما وأن الرواسب الجليدية فى كل القارات الجنوبية متشابهة إلى حد كبير ، وتحوى جميعاً أنواعاً نباتية قديمة تعرف باسم جلوسوبتريس Glossopteris . وكل هذه المناطق تبعد الآن بعداً شاسعاً عن القطب الجنوبى ، ولهذا كان من الصعب على نظرية الانكماش أن تقدم تفسيراً منطقياً لأسباب توزيع تلك الظاهرات . ومع هذا فنحن إذا ما افترضنا وجود معابر برية كانت تصل بين تلك الكتل القارية . فإن اليابس حينذاك كان ينبغى أن يكون بالغ الاتساع ، وبالتالى كان الجليد غاية فى الانتشار ، وأعظم بكثير جداً من جليد عصر البلايوستوسين .

ولقد حاول فيجر Wegener فى نظريته « زحزحة القارات » أن يحشد كل هذه الكتل القارية حول جنوب أفريقيا ، وادعى بأن القطب الجنوبى فى أثناء العصرين الفحمى والبرمى كان يقع فى مكان ما فى منطقة ناتال Natal الحالية . ولم تسهم نظرية فيجنر بالحل الوافى للمشكلة ، ولكنها أثارت الكثير من النقاش والجدال مما أدى بباحث آخر هو هولمز Holmes أن يتقدم بنظرية جديدة على أساس إمكان تزحزح القارات محاولاً تذليل مختلف الصعوبات التى واجهت نظرية فيجنر . ورغم هذا فقد ظل توزيع جليد العصر الفحمى لغزاً كبيراً يستدعى الحل المقنع ،

إذ أن الاعتراضات التى قيلت ضد نظريات التزحزح التى حاولت تفسير ذلك اللغز من القوة بحيث يمكن أن تهدم تلك النظريات باعتبارها غير وافية بأشكالها الحالية ، ومع هذا فإنه ليس لدى مؤيدى نظرية الانكماش مقترحات أفضل .

ونحن إذا أخذنا بالرأى القائل بثبات القارات وأنكرنا عليها إمكانية الحركة والزحزحة ، واعتقدنا بوجود معابر برية Land-Bridges كانت تحتل مكان الأحواض المحيطية وتصل بين الكتل القارية ، فإننا سنواجه صعوبات أخرى كبيرة ، إذ كيف ولماذا اختفت تلك المعابر البرية ؟ هناك من يعتقد أن تفسير اختفاء كتل قارية أو معابر برية عن طريق الهبوط أمر مستحيل ، هذا إذا أخذنا بتعاليم نظرية التوازن Isostasy . فإذا كانت القارات ـ ومنها المعابر البرية ـ تتكون من مادة السيال Sial ، وإذا كان قاع المحيط والأساس الذى ترتكز عليه القارات يتركبان من مادة السيما Sima، فإنه لا يبدو ممكناً أن تتعمق كتل اليابس السيالية الخفيفة فى الأساس السيماوى الكثيف أكثر مما يمكن للجليد أن يغوص فى الماء . ومع هذا فإن أحداً لا يشك فى أن هناك عيوباً وانكسارات ضخمة قد أصابت قشرة الأرض ، فهبطت أجزاء منها على طول امتداداتها مئات عديدة من الأمتار ، فإذا ما اعتبرنا تلك الانكسارات الضخمة ، فإنه ليبدو أن الأمر قد لا يكون بعيداً عن الصواب ، إذا ما افترضنا إختفاء قارة أو كتلة يابسة عن طريق الهبوط والإغراق . وقد تكون المفاهيم النظرية للتوازن صحيحة ، ولكننا لا نعتقد أن مسألة توازن قشرة الأرض قد بلغت درجة من الإتقان يستحيل معها إمكان هبوط المعابر البرية . ولقد أقام كل من « جيفريز » و « هولمز » أكثر من دليل وشاهد على غرق المعابر البرية .

وغير هذا هناك براهين أخرى تعزز الرأى القائل بتقارب الكتل اليابسة أو التصاقها فى الأحقاب الغابرة . وهى تستند إلى التماثل فى التكوين الصخرى القارى على جانبى المحيط . والمثال التقليدى لذلك هو أن التركيب الصخرى على جانبى المحيط الأطلسى الجنوبى فى قارتى أفريقيا

وأمريكا الجنوبية متماثل إلى حد كبير . ولقد استغل « فيجنر » تلك الحقيقة واعتبرها خير برهان على اتصال سالف بين القارتين . وعلى الرغم من أن دى توات Du Toit قد ساند هذا الرأى ، فإنه لا يميل إلى الأخذ به برمته ، فهو يعتقد أن القارتين كانتا مقتربتين من بعضهما لكن كانت تفصل بينهما مسافة تتراوح بين ٤٠٠ و ٨٠٠ كيلو متر . وهنا ينبغى لنا أن نتساءل هل يصح تفسير مثل هذا التشابه فى التكوين الصخرى والمعدنى عن طريق الزحزحة وحدها ؟ وهل يستحيل وجود التشابه فى التكوينات الجيولوجية فى المناطق البعيدة عن بعضها ؟ .

من هذا يتضح لنا أن هناك الكثير من الأسباب البيِّنة للخلافات العميقة بين المؤيدين لمختلف النظريات ، ولذا فإننا لا نعجب حين نرى توالى ظهور نظريات جديدة ، كل منها تحاول تذليل العقبات التى واجهت سوالفها . وهناك نظريات أقيمت على أسس واهية ، وأخرى ـ سنحاول مناقشة بعضها ـ تقوم على افتراضات معقولة ، ولكنها أيضاً عادة ما تتعرض للهجوم من جانب أو أكثر من جوانبها . ومع هذا فالنقد الذى تثيره نظرية أو أخرى ، والنقاش الذى يعقب نشرها قد فعلا الكثير فى تزويد معلوماتنا وتعميقها عن بناء الأرض وتطوير أفكارنا عن تاريخ سطحها .

وسنستهل دراستنا لمختلف النظريات بعرض سريع لنظرية الهرم الثلاثى ، ثم نناقش بعضا من نظريات الزحزحة التى تؤمن عموماً بإمكانية تحرك القارات ، وهى تقوم على افتراضات وأسس متباينة . فنظرية فيجنر تؤمن بالقوى التى تسبب تحرك القارات نحو الغرب ونحو خط الاستواء ، ونظرية جولى Joly تقوم على أساس النشاط الإشعاعى ، أما نظرية ديلى Daly فتعتقد بانزلاق القارات بفعل قوة الجاذبية ، ونظرية هولمز Holmes تستند إلى قوى التيارات التصاعدية فى الطبقات السفلى من الأرض . أما أهم النظريات وأحدثها ، والتى ترقى الآن لمرتبة الحقيقة ، فهى نظرية الألواح التكتونية وتمدد وانتشار القيعان المحيطية .

نظرية الهرم الثلاثى

(النظرية التتراهيدية)

على الرغم من أن هذه النظرية لا تجد الآن سوى القليل من المؤيدين لها ، فإننا نجد أنه من المفيد هنا أن نعرض لجوانبها الرئيسية ، إذ أنها تتناول بالتفسير بعض نواحي هامة فى تضاريس قشرة الأرض ، وبوجه خاص توزيع القارات والمحيطات .

ولقد بنى لوثيان جرين Lothian Green نظريته على أساس حقيقتين هندستين هما :

١ ـ أن الشكل الكروى يتمثل فى أعظم حجم لأقل مساحة سطحية .

٢ ـ أن الهرم الثلاثى هو الجسم الذى يحتوى على أصغر حجم لأكبر مساحة سطحية .

وبعد أن أجرى « لوثيان جرين » عدة تجارب رياضية ، توصل إلى أنه من الممكن لكرة أن تتقلص وتتخذ شكل هرم ثلاثى لو تعرضت جميع أجزاء سطحها لضغوط متساوية . ثم بدأ بتطبيق ذلك على الكرة الأرضية، فاعتقد أن القوى التى تعمل على إنكماش كوكبنا الكروى ، والتى تتمثل على الخصوص فى فقدانه للحرارة ، تؤدى إلى أن يميل إلى اتخاذ شكل الهرم الثلاثى . معنى ذلك تحول فى الشكل الهندسى الكروى الذى تتمثل فيه أقل مساحة سطحية لحجم معين تجاه هرم ثلاثى تتمثل فيه أكبر مساحة سطحية لذلك الحجم ، وهو الحجم الذى تغيّر ، إذ صغر بالإنكماش بينما بقيت المساحة السطحية ثابتة . ولا شك أن الأرض لم يكن باستطاعتها اتخاذ شكل هرم ثلاثى منتظم نظراً لتباين بنيتها وتركيبها . وفى الهرم الثلاثى يقابل كل وجه فيه أحد رؤوسه ، وفى الأرض يقابل المحيط كتلة من اليابس .

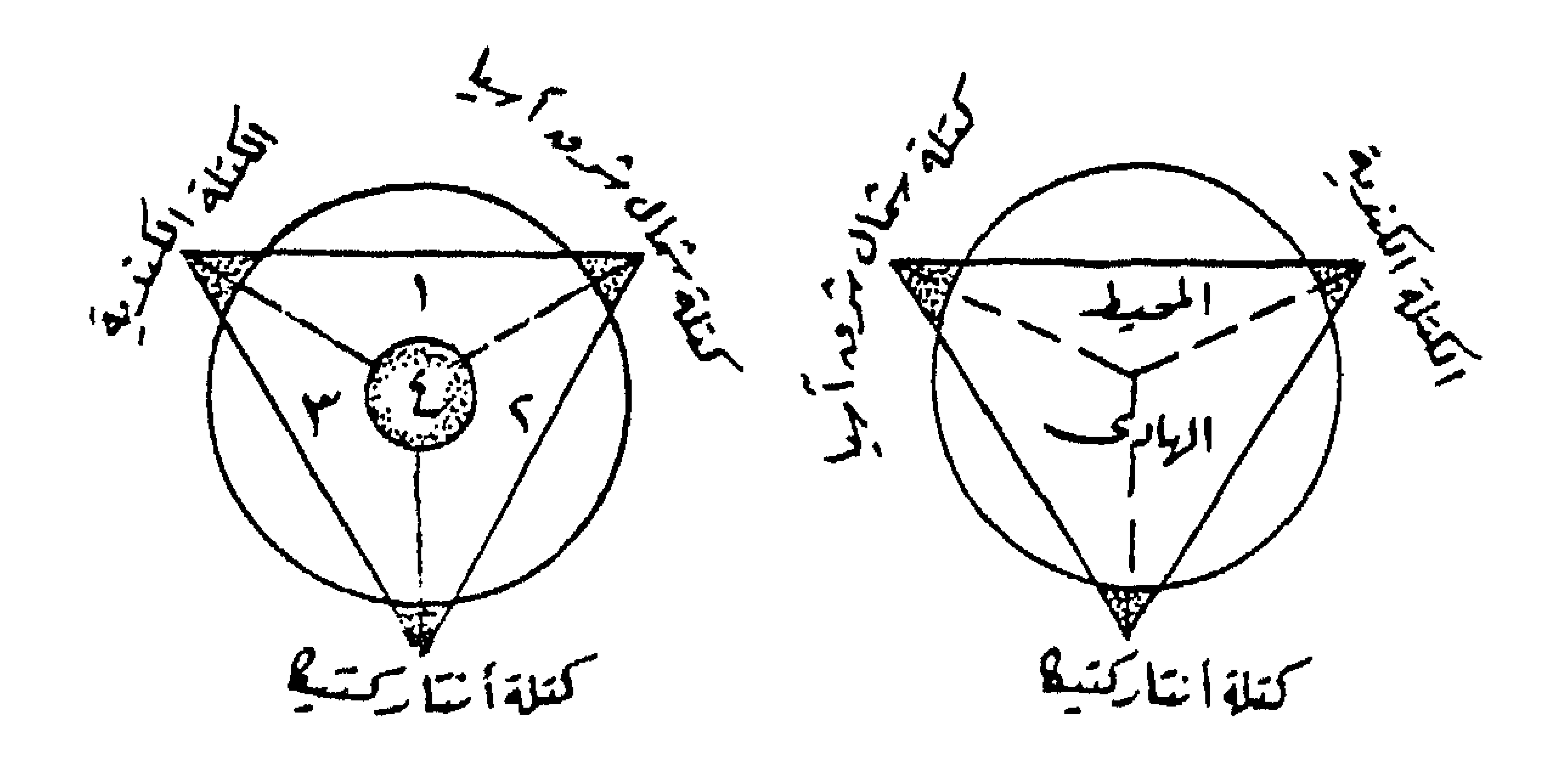
وبتطبيق تلك النظرية على الأرض نجد أن المحيطات تحتل أوجه الهرم الثلاثى ، بينما تحتل الكتل القارية رؤوسه . ففى النصف الشمالى

من الكرة الأرضية نجد ثلاث كتل يابسة سحيقة فى القدم قد نمت حولها القارات الحالية هى الكتلة اللورنسية والبلطية والسيبيرية ، وهى التى تحتل - فى رأى صاحب النظرية - رؤوس الهرم الثلاثى الثلاثة الشمالية ، هذا إذا ما قام الهرم الثلاثى على إحدى رؤوسه ، وهى الرأس الرابعة التى تقع عندها قارة أنتاركتيكا . أما حواف الهرم الثلاثى فتمتد على طولها الكتل القارية الضخمة ذات الإمتداد الطولى ، ويتمثل هذا أصدق تمثيل فى الأمريكتين ، كما يتضح أيضاً فى قارة أفريقية وجنوب شرقى أسيا مع قارة أستراليا وجزيرة تسمانيا .



شكل (٩٨) : توزيع اليابس والماء - حسب النظرية التتراهيدية Tetrahedral Theory

وتعتبر هذه النظرية إحدى النظريات التى يمكن أن نسميها بالنظريات الهندسية . وقد سبقتها محاولة لإيلى دى بوموντ Elie de Beamont الذى رأى فى نظم المرتفعات التى عرفها توزيعاً يشابه فى هيئته الشكل ذا الأسطح الإثنى عشر ، وتلتها نظرية أخرى لكوبر Kober الذى إفترض شكلاً مثمن الأسطح غير منتظم لترتيب المعالم الرئيسية لسطح الأرض .



شكل (٩٩) : شكل آخر لتوزيع اليابس والماء حسبما ترى النظرية التتراهيدية (نظرة الهرم الثلاثى) للعالم لوثيان جرين . يلاحظ فى الرسم ، أن المحيطات تحتل أوجه الهرم الثلاثى ، بينما تحتل الكتل القارية رؤوسه . كما يتضح التقابل بين اليابس والماء

١ ـ المحيط القطبى الشمالى .

٢ ـ المحيط الهندى .

٣ ـ المحيط الأطلسى .

٤ ـ كتلة القارة الأوربية .

ونظرية لوثيان جرين هى أشهر هذه النظريات جميعاً ، وينبغى أن نشير إلى أن النظرية التتراهيدية كما وضعها مؤلفها لا تستطيع أن تقف صامدة أمام النقد والإعتراض ، فإن سرعة دوران الأرض كفيلة بإعادة التوازن ، وإيقاف أى ميل لتحول الكرة الأرضية إلى شكل الهرم الثلاثى ، كما وأنه لا يشترط بالضرورة أن تتحول الكرة إلى هرم ثلاثى حينما تبرد وتنكمش خصوصاً إذا ما كان لتلك الكرة ما للأرض من تركيب شديد التعقيد . ويبدو أن قيمة النظرية لا تتمثل فيها بمقدار ما تتمثل فى المناقشات التى أثارتها ودارت وما تزال تدور حولها .

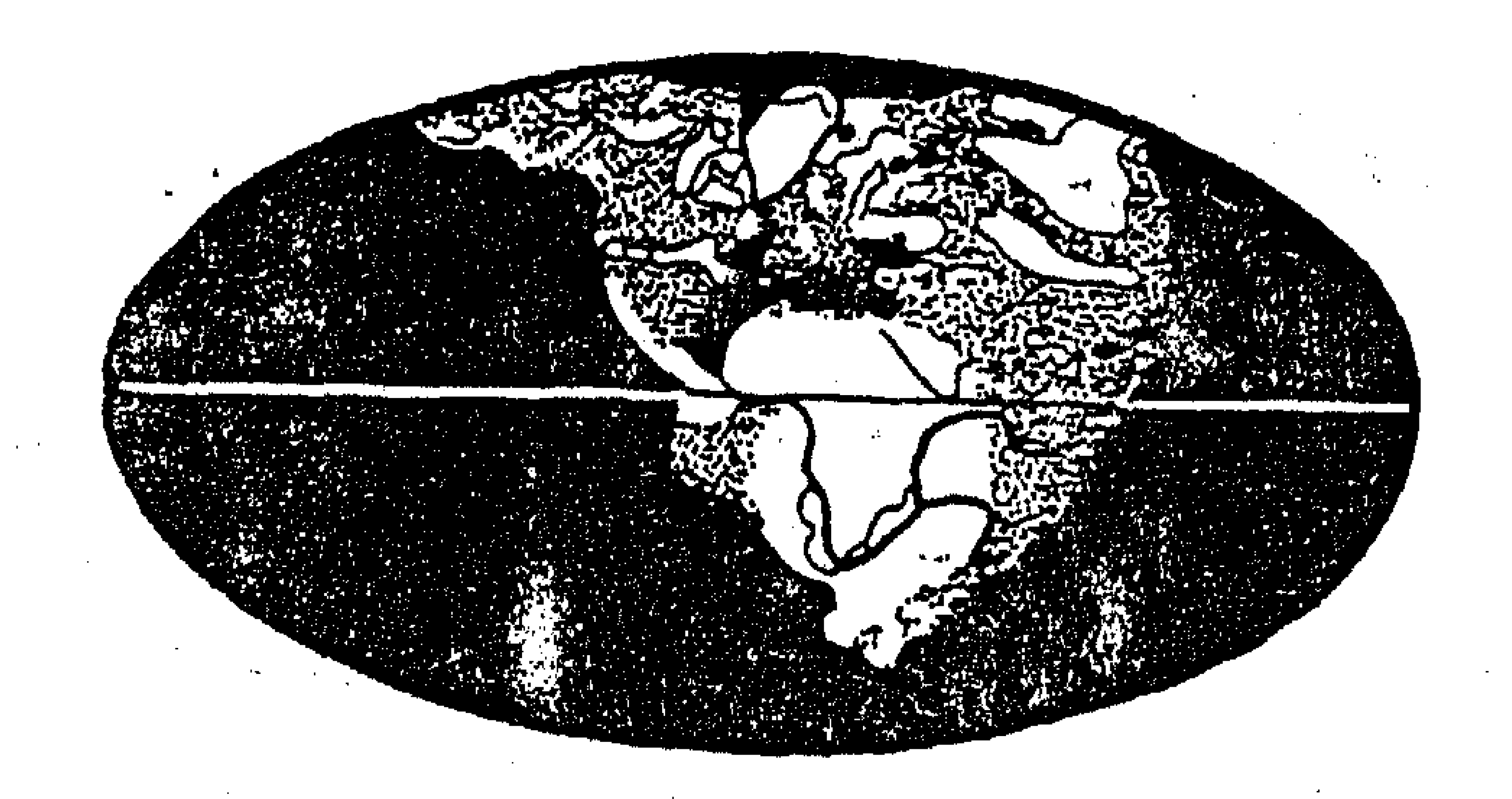
نظرية زحزحة القارات لفيجنر

Continental Drift

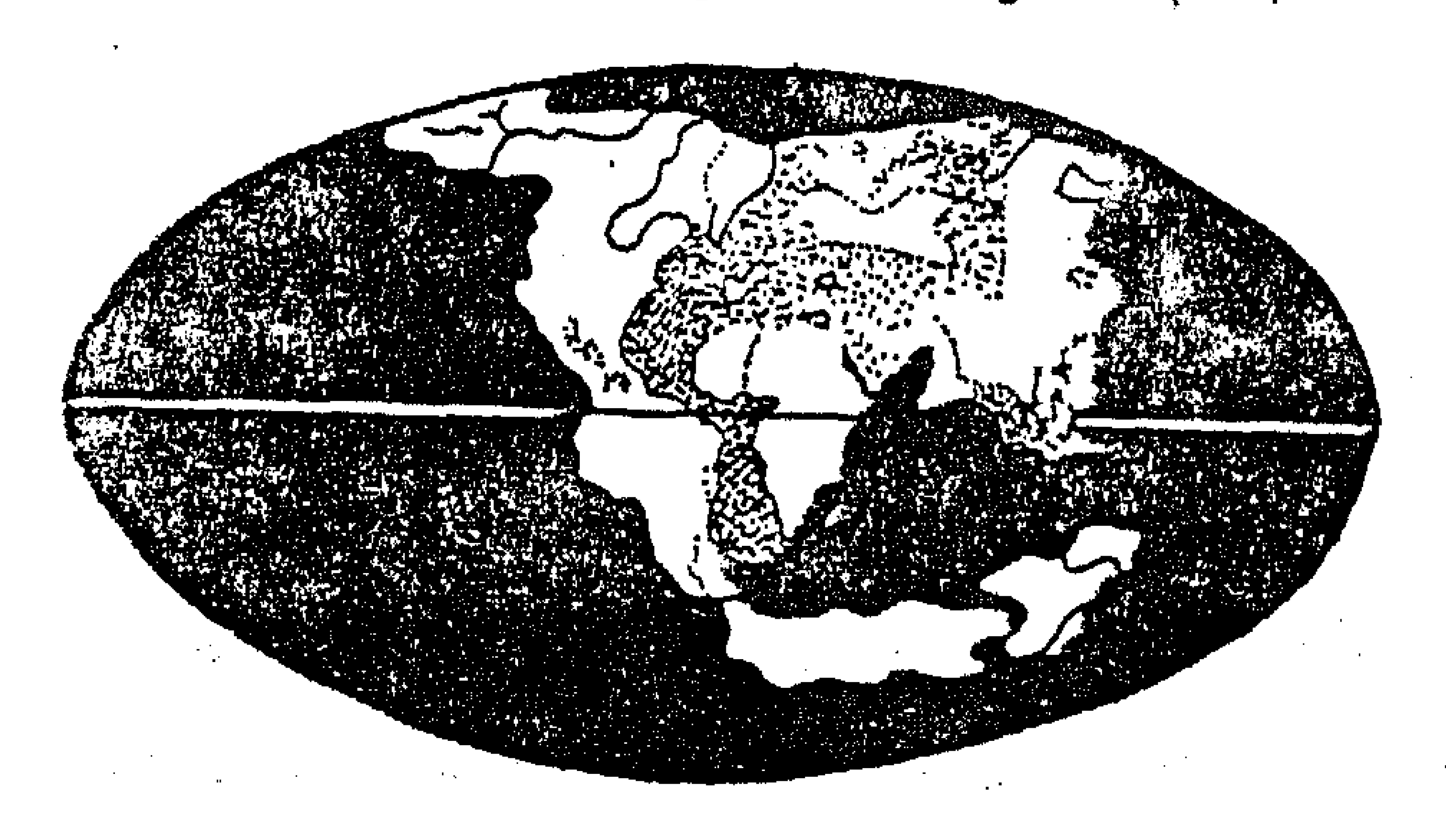
لقد قدم فيجنر Wegener عدداً كبيراً من الأدلة التى تشهد بأنه قد حدث تزحزح للكتل القارية ، وبأن ذلك التزحزح ما يزال دائبا حتى الوقت الحاضر . ويرى فيجنر أن اليابس كله كان فى العصر الفحمى محتشدا فى كتلة سيالية واحدة عظيمة الرقعة ، أطلق عليها إسم قارة بانجايا Pangaa . وكان يحيط بها محيط شاسع المساحة يرتكز على طبقة من السيما Sima. وهو يعتبر العصر الفحمى بمثابة البداية الحقيقية لنمو ونشوء المعالم الحالية لسطح الكرة الأرضية ، فهو يعتقد أن قارة بانجايا قد تمزقت بعد ذلك العصر ، وانشطرت إلى أجزاء أخذت تتزحزح إلى المواقع التى تشغلها الآن كتل القارات الحالية .

ولقد لاحظ كثير من الباحثين التشابه الكبير بين ساحلى المحيط الأطلسى الشرقى والغربى ، وكذلك موازاة الحافة الغائصة الوسطى فى المحيط الأطلسى Mid - atlantic ridge عموما للساحلين . ويذهب فيجنر إلى القول بأن هذا التماثل بين جانبى المحيط يعنى أنهما كانا متلاصقين فيما مضى . وهنا تبرز نقطة هامة : فإذا كانت القارات قد تزحزحت بعيدا عن بعضها ، فكيف يمكن إعادة تجميعها وبنائها بحيث تلتحم فى قارة واحدة هى بنجايا ؟ من الواضح أنه لو كان قاع البحر العميق هو السطح الخارجى للسيما ، فإنه من الممكن أن نعيد إلصاق حضيض الحافات القارية .

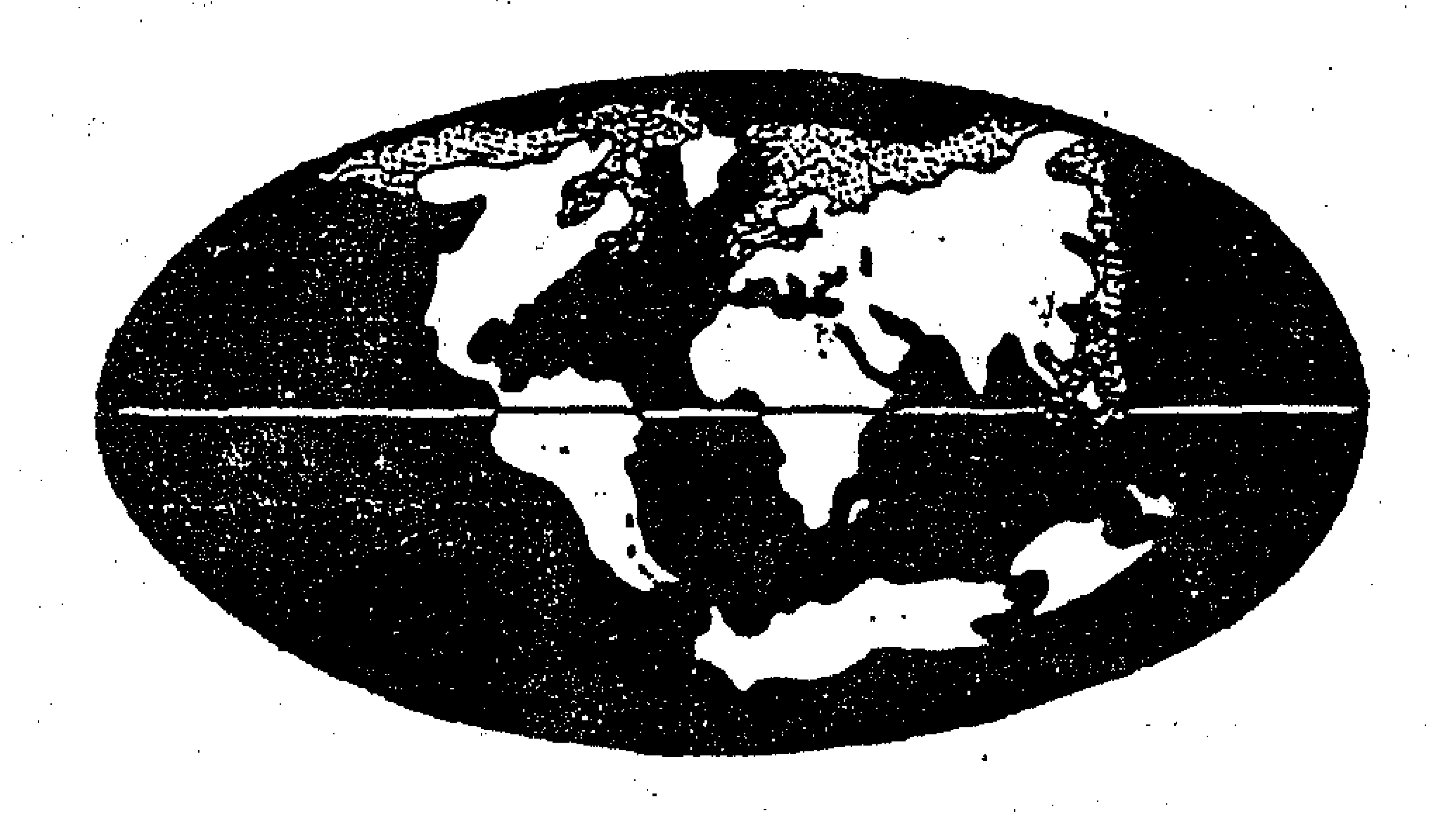
وقد حاول فيجنر جهده أن يصل إلى تطابق دقيق بين جانبى المحيط الأطلسى عن طريق إيصال حواف الأرصفة القارية ببعضها ، ولكنه لم يوفق ، فقد تبين أنه من العبث إجراء مثل هذه المحاولات ، فإذا كانت القارات كتلاً سيالية ، فإنه من الممكن أن يتغير شكلها أثناء تزحزحها وإبتعادها عن بعضها ، نتيجة لتحركها وإحتمال تكسرها ، ومن ثم تصبح



شكل (١٠٠) : توزيع اليابس والماء فى العصر الفحمى الأعلى .



شكل (١٠١) : توزيع اليابس والماء فى عصر الأيوسين .



شكل (١٠٢) : توزيع اليابس والماء فى عصر البلايوستوسين الأسفل .

توزيع اليابس والماء خلال ثلاث فترات جيولوجية حسب ما ترى نظرية زحزحة القارات لفيجنر .

المحيطات: موضحة باللون الأسود .　　　　البحار الضحلة : مظللة بالنقط .

محاولة تجميعها في قارة واحدة كمحاولة لصق أجزاء بطاقة تمزقت بغير انتظام لإعادتها لشكلها الأصلى ، وهذا مستحيل .

ولعل أهم مشكلة تجابه أية نظرية تستند على الزحزحة هى تعليل الحركات الفعلية للكتل القارية . وقد إفترض فيجنر إتجاهين رئيسيين لتحركها : إتجاها نحو خط الإستواء ، وإتجاها آخر نحو الغرب . وهو يرى أن قوة الطرد هى التى دفعت بالكتل القارية نحو خط الإستواء . وقد تبين أن هذه القوة لا تتعدى جزءين أو ثلاثة أجزاء من المليون من قوة الجاذبية . أما القوة الأخرى التى أدت إلى تزحزح الكتل القارية نحو الغرب ، فهى قوة المدّ التى تنشأ عن جذب الشمس والقمر للأرض ، فقد تستطيع تلك القوة أن تجذب قشرة الأرض ، وتجعلها تتحرك فوق الطبقات الداخلية نحو الغرب .



شكل (١٠٣) : تلاصق الكتل القارية قديماً كما تراها نظرية الزحزحة .

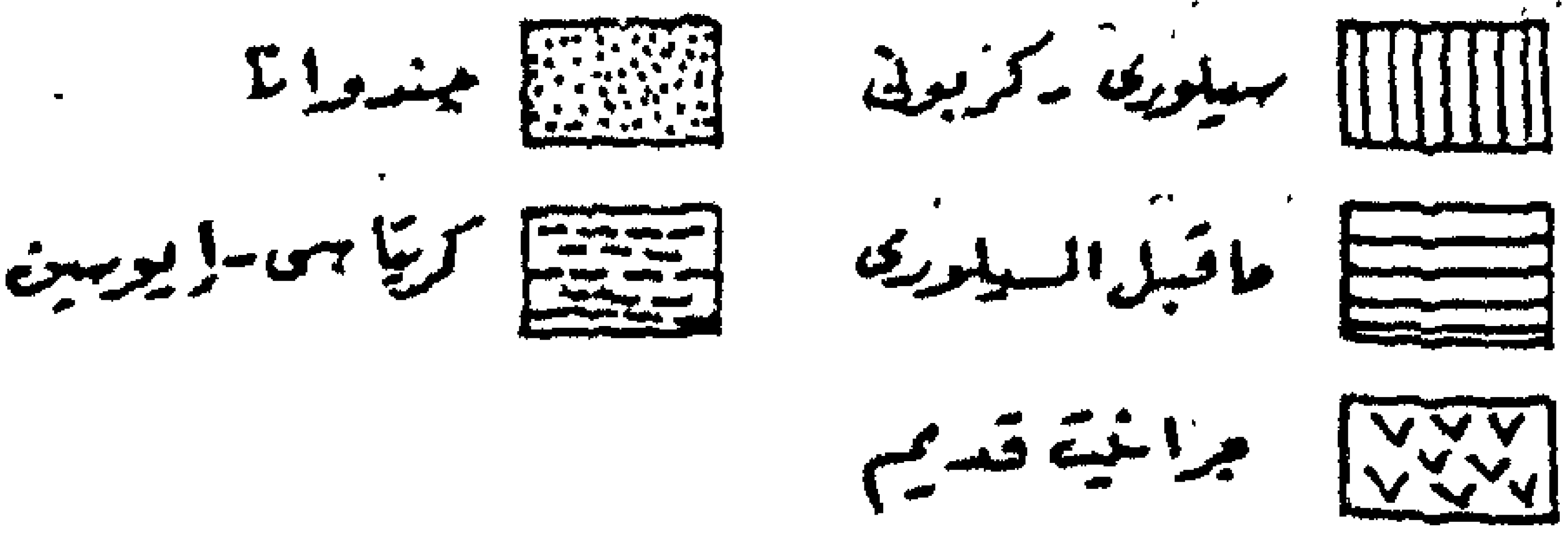
ومن الممكن أن يزداد تأثير تلك القوة لو افترضنا أن دوران القمر كان أسرع فى غابر الزمن منه فى الوقت الحاضر ، وهذا ممكن . ويتفق معظم الباحثين على أن هذه القوى من الضعف بحيث لا تستطيع إطلاقاً أن تؤدى إلى تزحزح القارات . والواقع أن القوى التى إفترضتها جميع نظريات الزحزحة غير كافية . ومع هذا ينبغى أن لا يكون جهلنا بتلك القوى سببا فى إعتقاد البعض بأنها غير موجودة .

وقد فسر فيجنر نشأة **المحيط الأطلسى** عن طريق قوى الشد التى تولدت نتيجة لتزحزح الكتل القارية نحو الغرب . فهو فى رأيه عبارة عن أخدود بحرى عميق ، أخذ يزداد إتساعا وعمقا بتحرك كتلة الأمريكيين نحو الغرب بعيدا عن كتلة أفريقيا ، ولم يكتمل شكله الحالى إلا بعد إنتهاء عصر البلايوستوسين . وقد حاول فيجنر أن يلصق الساحل الشرقى لأمريكا الجنوبية بالساحل الغربى لقارة أفريقيا ، ولكن تبين أن هناك فرقا يبلغ ١٥ درجة بين مقدار الزاوية المحصورة بين ضلعى خليج غينيا ومقدار الزاوية المحصورة بين ساحلى البرازيل الشمالى والشرقى .

ومع هذا فلو تجاوزنا عن هذا الفرق ، وأجزنا إفتراض إنطباق ساحل أفريقيا على ساحل أمريكا الجنوبية لأمكننا تفسير التشابه فى عديد من الظاهرات الفيزيوغرافية على كلا الساحلين . هذا على الرغم من وجود إختلافات فى التفاصيل .

ومهما يكن من شئ فإن دى توات De Toit الذى قام بدراسة جيولوجية لأمريكا الجنوبية ، وللقسم الجنوبى من أفريقيا على الخصوص ، قد أشار إلى تشابه كبير بينهما ، ورأى أن تفسير هذا التشابه يبدو وشيكا على أساس نظرية الزحزحة ، وفضلها على النظريات الأخرى . ولكنه لم يدمج الكتلتين القاريتين ويلصقهما تماما ، فقد إكتفى بتقريبهما من بعض ، بحيث تفصل بينهما فجوة يبلغ إتساعها بين ٤٠٠ ـ ٨٠٠ كيلو متر .





شكل (١٠٤) : تشابه التكوينات الجيولوجية فى قارتى أفريقيا وأمريكا الجنوبية .

ويرى دى توات أنه بالنظر إلى وضع ونظام توزيع الكتل القارية يمكن ملاحظة ما يأتى :

١ - إنه من المستحيل إيجاد إتصال فعلى تام بين خطوط السواحل المتقابلة للكتل القارية .

٢ - إنه من الصعب الأخذ برأى فيجنر الذى يحبذ عملية ضم حواف الأرصفة القارية . إذ أن هناك إختلافات بين الأدوار التى تنسب إليها مختلف التكوينات المتشابهة ، وأن هذه الإختلافات تبلغ درجة تتطلب لتفسيرها وجود فجوة واسعة نسبيا كانت تفصل بين قارتى أفريقيا وأمريكا الجنوبية . وقد كان إتساع هذه الفجوة يتراوح بين ٤٠٠ - ٨٠٠ كيلو كتر . كما سبق أن أشرنا .

هذا ولم يحاول فيجنر أن يدعى التحام ساحل الصحراء الكبرى الأفريقية بالساحل الأمريكى المواجه له ، ويبدو من الخرائط التى رسمها أن المساحة المحصورة بين الكتلتين كانت تشغلها مياه بحر ضحل .

وعلى الرغم من أن كثيراً من آراء فيجنر من الضعف بحيث تعرضت للنقد والإعتراض ، إلا أنه لا يشك فى أن الفضل يرجع إليه فى الكشف عن الأفكار الحديثة الخاصة بتكتونية الأرض . ولهذا ينبغى أن تظل نظريته موضوعا للبحث والمناقشة .

نظرية التيارات الصاعدة لهولمز

تعتمد نظرية التيارات الصاعدة Convection Current Theory أساساً على ما يتولد من الحرارة فى قشرة الأرض وما تحتها نتيجة للنشاط المشع الذى تتميز به العناصر المكونة للصخور .

ويعتقد هولمز Holmes أن قشرة الأرض تتركب من طبقات ثلاث هى: طبقة خارجية (يُسْتَثْنى منها الصخور الرسوبية) تتركب من صخور الجرانو ـ ديوريت ، ويبلغ سمكها بين ١٠و ١٢ كيلو مترا . وطبقة وسطى تتركب من صخور الأمفيبوليت ، ويبلغ سمكها بين ٢٠و ٢٥ كيلو مترا ، ثم طبقة سفلى تتركب من صخور الإكلوجيت Eclogite أو من صخور البيريدوتيت ، وهذه تتميز بتبلور صخور قسمها العلوى ، بينما يتركب قسمها السفلى من مواد حارة « سائلة » أو زجاجية ، وتختفى طبقة السيال العليا من قيعان المحيطات ، أو قد توجد فى شكل حطام غير متصل فى قاع المحيط الأطلسى ، وأجزاء من قاع المحيط الهادى. ومن ثم فإن الطبقة السفلى يستمر وجودها ويتصل أسفل القارات والمحيطات .

وتستند هذه النظرية على إمكانية حدوث تيارات تصاعدية فى الطبقة السفلى ، ويتوقف هذا الإفتراض أساساً على العناصر المشعة التى تدخل فى تركيب الصخور ، وبالتالى على ما ينبعث من الحرارة نتيجة للطاقة

التى يطلقها التحلل الذرى لتلك العناصر . وبالإضافة إلى عنصرى الثوريوم واليورانيوم وهما عنصران مشعان رئيسيان نجد أن لعنصر البوتاسيوم هو الآخر أهمية كبيرة كمولد لحرارة بواسطة نشاطه المشع ، نظراً لكثرة وجوده النسبى فى الصخور ، وإن كان أقل من غيره قدرة على التحلل .

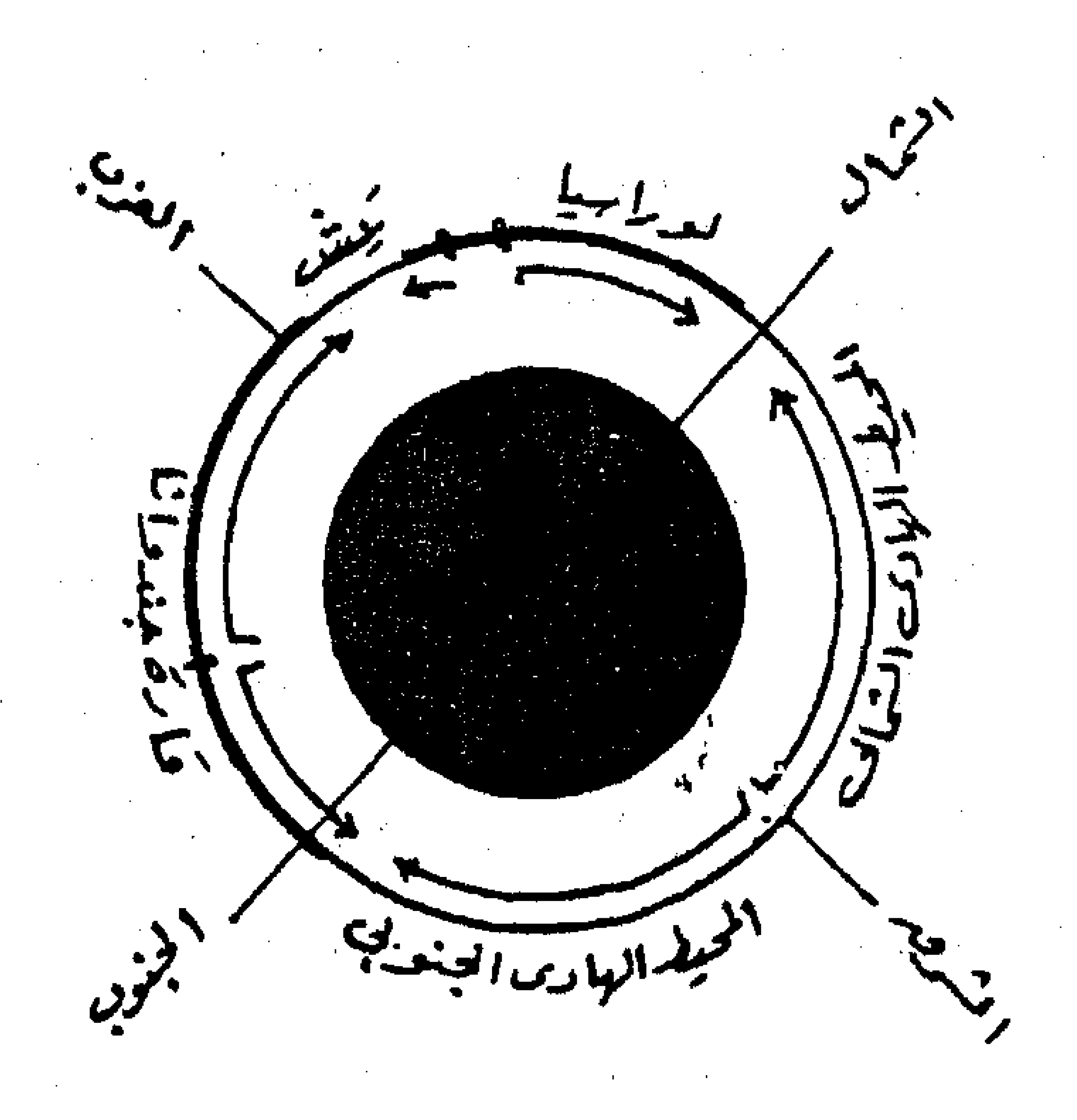
ويبلغ متوسط كمية ما تفقده الأرض من الحرارة فى السنة عن طريق التوصيل إلى السطح والإشعاع فى الفضاء بحوالى ٦٠ كالورى بالنسبة لكل سنتيمتر مربع . ولما كان النشاط المشع يزداد ويتركز تجاه سطح الأرض فإن متوسط المفقود من الحرارة عن طريق الإشعاع من السطح يمكن تعويضه بواسطة المقدار من الحرارة الذى تولده قشرة أرضية سمكها ٦٠ كيلو مترا . ويقول هولمز إنه لو أن كل كميات العناصر ذات النشاط المشع المعروفة كانت موزعة توزيعاً منتظماً إبتداء من سطح الأرض إلى عمق ٢٩٠٠ كيلو متر فى داخل الأرض فإن كل القسم من الأرض أسفل عمق ٥٠ كيلو مترا لا يمكن أن يتصلب .

ويعتقد هولمز أن الطبقة السفلى تتميز بالنشاط المشع لدرجة معينة وأن طاقة هذا النشاط كافية لأن تجعل الطبقة السفلى فى حالة تمكن للتيارات الصاعدة من أن تنشأ وتتولد فيها . ويستند إعتقاده هذا على أن ما يتولد فى قشرة الأرض من حرارة بفضل النشاط المشع يتعادل مع ما تفقده هذه القشرة بالإشعاع . وإذا كانت هذه الإفتراضات صحيحة ، فيجب حينئذ أن يحدث نوع من الحركة فى قشرة الأرض حتى يمكن إطلاق الكميات الزائدة من الحرارة .

وتبقى قشرة الأرض فى حالة ثبات إلى أن يتعدى التدرج فى ازدياد درجة حرارتها معدلاً حرارياً معيناً ، هذا المعدل فى ازدياد الحرارة بالعمق يقدر بنحو ٣درجة مئوية لكل كيلو متر واحد . ووجود العناصر المشعة

ومـا تولده من حـرارة سيـزيد من هذا المـعـدل ، وبالـتـالى تـشـتـد الدورة التصـاعدية فـتـسمح للـحـرارة الجديدة بأن تنتقل بالسـرعة التى تنشـأ بها . وتتوقف هـذه الدورة علـى عـامـلـين : الأول : هـو إخـتـلاف سـمك الطـبـقـة السـفـلى عند المنطـقة الإسـتـوائية عنه عـنـد المناطق القطبـيـة . والثـانى : هـو الإخـتـلاف فى سـمك القـشـرة التى توجـد فـوقـهـا والتـبـاين فـيـمـا تحـويه من عناصـر ذات نشاط مشـع.

ولما كـان سمك قـشـرة الأرض عند المنطقـة الإسـتـوائية أكـبـر منه عند القطبين نظراً لانتفـاخ الأرض عند الـنطاق الإستوائى ، فإن الـتدرج الحرارى بالعمق فى النطاق الإسـتوائى يكون أعظم منه فى المناطق القطبية . ومن ثم تنشأ تيارات تصـاعدية تحت النطاق الإسـتوائى من قـشـرة الأرض . وتيارات هـابطة أسفل قشـرة المناطق القطبية (شـكل ٩٤) .



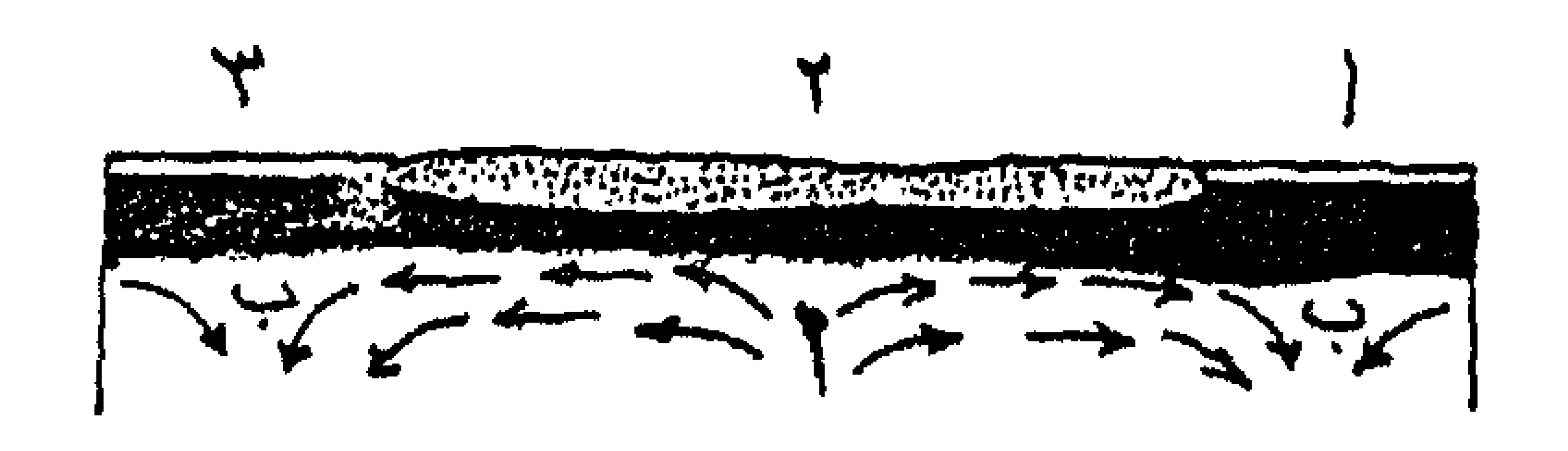
شكل (١٠٥) : النظام العام المحتمل للتيارات الكوكبية .

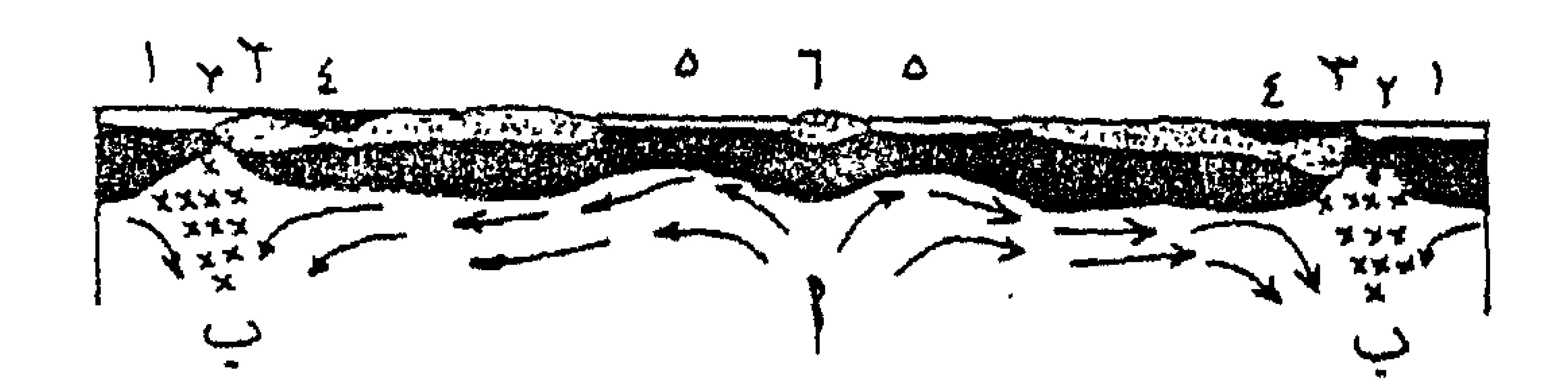
لوراسيا = الكتلة القارية الشمـالية القـديمة . كـانت تشـمل لجزاء من امـريكـا الشـمـالية (لورينشـيـا Laurentia) وأوروبا وآسيا .

جندوانا = الكتـلة القارية الجنوبية القـديمة . كانت تشـمل كـتلة أسـتـراليـا والهند وشـبـه جـزيرة العـرب وافريقيا والبرازيل .

وحين تبلغ التيارات الإستوائية قشرة الأرض فإنها تتوزع أسفلها نحو القطبين . فالتيارات التى تتحرك أسفل النطاق الإستوائى صوب القطب الشمالى تحمل معها قشرة الأرض فى نفس الإتجاه ، أما التيارات الإستوائية التى تتجه نحو القطب الجنوبى فتدفع بالأجزاء من قشرة الأرض التى تعلوها صوب الجنوب . ولما كان من الممكن إفتراض أن الطبقات السفلى تتحرك بسرعة أكثر من الطبقات العليا فإن هذا يؤدى إلى حدوث تصدع فى الطبقات العليا ، ومن ثم تنكسر وتنفصل عن بعضها وتتباعد الأجزاء المنفصلة نحو الشمال ونحو الجنوب مما يؤدى إلى تكوين نطاقات بحرية فى الجهات الإستوائية . ويعتقد هولمز أن بحر تيثس قد تكون عن طريق هذه التيارات التى يسميها بالتيارات الصاعدة الكوكبية ، ولكنه إنكمش فيما بعد بسبب تيارات ثانوية معاكسة نشأت أسفل الكتل القارية (شكل ٩٤) .

ولما كان النشاط الإشعاعى فى الكتل القارية أعظم منه فى المواد الصخرية الموجودة أسفل قيعان المحيطات ، فإن حرارة ما تحت القشرة تزيد أسفل الكتل القارية عنها تحت قيعان المحيطات فى نفس المستوى . ومن ثم فإننا نتوقع أن تنشأ تحت الكتل القارية تيارات صاعدة تؤدى إلى تحريك المواد المنصهرة وتوزيعها من نقط مركزية أسفل القارات ، وتعمل على دفع أجزاء الكتل القارية نحو الأطراف أى نحو المحيطات (شكل ٩٥ ، ٩٦) . وبالمثل تتولد تيارات أخرى صاعدة ـ لكنها أقل عنفاً ـ أسفل قيعان المحيطات ، وتتوزع هى الأخرى من نقط مركزية نحو الأطراف أى نحو الكتل القارية . وهذه تتقابل مع التيارات الصاعدة التى نشأت تحت الكتل القارية وذلك عند أسفل حواف تلك الكتل أى تحت الأرصفة القارية . وتحت هذه الأرصفة تهبط التيارات المتضادة إلى أسفل مكونة لتيارات هابطة . ولا شك أن نظم هذه التيارات مركبة وأنها تتكون حول عدة مراكز تشع أو تتشعب منها صوب الأطراف .





شكل (١٠٦) : التيارات الصاعدة أسفل قشرة الأرض .

أ - تيارات صاعدة .

ب - تيارات هابطة - تكوين الإكلوجيت .

١ - محيط قديم .

٢ - كتلة قارية .

٣ - محيط قديم .

شكل (١٠٧) : تكسر الكتلة القارية بتأثير التيارات الصاعدة .

أ - تيارات صاعدة .

ب - تيارات هابطة - تكوين الإكلوجيت .

١ - محيط قديم .

٢ - منخفض .

٣ - أرض هامشية .

٤ - بحر داخلي .

٥ - محيط جديد .

٦ - جزيرة .

وحيث تصعد التيارات الناشئة أسفل الكتل القارية ثم تتوزع من نقط مركزية نحو الأطراف ، فإنها تشد أجزاء هذه الكتل ، ويؤدى هذا الشد إلى كسر الكتلة الأصلية ودفع شطريها فى اتجاهين متضادين . ومن ثم يتكون حوض محيطى ، أو قد ينجم عن قوى الشد هذه أن تستدق القشرة وتصبح رقيقة السمك مما يتسبب عنه هبوط ينشأ عنه محيط جديد . وبهذه الطريقة تتخلص الأرض من حرارتها الزائدة (أنظر شكل ٩٦) .

وحيث تتقابل التيارات الصاعدة الآتية من تحت القارات مع التيارات المعاكسة الآتية من أسفل قيعان المحيطات ، ينشأ نطاق من الضغط العنيف، يترتب عليه ازدياد سمك المواد وارتفاع كثافتها مما يؤدى إلى هبوطها . وينشأ إرتفاع الكثافة من أن الضغوط التى تعانيها صخور الأمفيبوليت تؤدى (كما يحدث فى عمليات التحول الديناميكى مع وجود الحرارة) إلى إعادة تبلورها وتحولها إلى صخور (الإكلوجيت) ، ومن ثم تزداد الكثافة من حوالى ٣ (فى حالة الأمفيبوليت) إلى نحو ٣,٤ (فى الإكلوجيت) . وينجم عن ازدياد كثافة المواد على هذا النحو ـ بالإضافة إلى قوى التوازن ـ هبوط ملحوظ من شأنه أن يزيد فى سرعة التيارات الهابطة العادية . واستمرار هذا الهبوط عند حواف الكتل القارية يؤدى إلى تكوين بحار جديدة .

وتعمل التيارات الصاعدة الناشئة أسفل القارات على دفع المواد نحو الأطراف . وهذا يؤدى إلى زيادة سمك طبقات السيال عند حواف القارات بسبب التمايز الذى يحدث فى دفع مختلف طبقات القشرة ، مما يؤدى إلى تراكم الأجزاء العليا السيالية عند أطراف الكتل القارية فيرتفع مستواها وتتكون الجبال . ونظراً لأن جذور هذه الجبال تتركب من مواد أخف من مواد الطبقة السفلى فإنها لا تستطيع أن تغوص فيها ، ولهذا فإنها تنصهر، وينشأ عن ذلك نشاط نارى يحتمل أنه من طابع النشاط النارى الطفحى حول سواحل المحيط الهادى .

وبناء على هذا فقد نشأ بحر تيثس نتيجة لفعل التيارات الصاعدة التى استطاعت أن تشطر كتلة قارية إستوائية أصلية إلى شطرين ، فنشأت فجوة بينهما شغلها ذلك البحر ، ثم استطاعت التيارات الثانوية التى نشأت أسفل الشطرين أن تعمل على تحريكهما تجاه بحر تيثس مما أدى إلى إنكماشه ، وهذا يفسر تحرك قارتى أفريقيا وأوروبا واقترابهما من بعض ، وبالتالى تقلص حوض بحر تيثس واقتضابه ليكون البحر المتوسط الحالى، وهو تفسير يأخذ به بعض الجيولوجيين .

ويعتقد هولمز إعتقاداً راسخاً فى زحزحة القارات ، وهو يؤمن بأن توزيع مخلفات العصر الجليدى الذى حدث فى أواخر العصر الفحمى فى جهات متفرقة فى أفريقيا والهند وأستراليا وأمريكا الجنوبية ، لا يمكن تعليله إلا بافتراض نوع من الزحزحة القارية .

وقد صور العالم فى أواخر الزمن الأول على أساس وجود كتلتين قاريتين عظيمتين هما : قارة لوراسيا Laurasia وقارة جندوانا Gondwana وهو يرى أن القطب الجنوبى كان يقع حينئذ قرب موقع ناتال الحالية بجنوب أفريقيا . وكان يوجد بحر عظيم هو بحر تيثس ، ومحيط أعظم منه إتساعاً هو المحيط الهادى . وقد حدث أن نشأت مجموعات من التيارات الصاعدة أسفل القارتين ، ثم إنتشرت وتوزعت صوب المحيط الهادى ونحو بحر تيثس (شكل ٩٦) .

ويرى هولمز أنه قد حدثت حركة زحزحة عامة للكتل القارية نحو الشمال ، كانت كافية لدفع القسم الجنوبى من أفريقيا بعيداً عن المنطقة القطبية الجنوبية ، ولدفع بريطانيا بعيداً عن المنطقة الإستوائية ، إذ أن وجود التكوينات الفحمية فى بريطانيا وفى أراضى أوروبا الشمالية يشير إلى أن خط الإستواء كان يمر بتلك الجهات أو بالقرب منها آنذاك . ولكى يتم هذا التزحزح العام يرى هولمز أن التيارات الصاعدة تحت قارة جندوانا كانت تنشأ حول مركز يقع قرب منطقة جبال الرأس الحالية بجنوب أفريقيا . أما التيارات الصاعدة أسفل قارة لوراسيا فقد كانت تتولد أسفل

نطاق مـرتـفـعـات الأبلاش . ومن ثم يعـتـقـد هـولـز أن إتجاه الزحـزحـة فى نصـف الكرة اليـابـس كـان نحـو الشـمـال بوجـه عـام ، مما أدى إلى إقـتـراب قارتـى أفريقيـا وأوروبا من بعـضـهـمـا (شـكل ٩٤) وقـد سـاعد علـى حدوث هذا الإقـتـراب تلك التـيـارات التـى تنشـأ أسـفل المحـيط الأطلسـى والمحـيط الهندى بعد تكوينهـمـا . وعلى الرغم من أن مثل هذه التيـارات من شأنها أن تضـغط على كتلة القارة الإفـريقيـة فى إتجاهـين متقابلين (من الشـرق ومن الغـرب) ، إلا أن هـولـز يرى أن النتيجة النهـائية تتمثل فى دفع وتحـريك تلك القـارة نحـو الشـمـال .

ولقد اسـتطاعت التـيارات الصـاعـدة أيضـاً أن تزحـزح كتلة الهـنـد نحـو الشـمـال وتبعدها عن مـوضـعـهـا الجنوبى الذى كـانت تقع فيه أثناء العـصـر الفـحـمى ، ومن ثم تكونت مرتفعات الهيمالايا ، كما نشـأ المحيط الهـندى .

ويرى هـولـز أن زحـزحة قارة أسـتـراليا لـمسافة كبيرة ، يرجع إلى شدة التيارات الـصـاعـدة التى نشـأت أسـفل المحيط الهـندى ، والتى لم يكن هـناك ما يعـرقل حـركتـهـا ، إذ لـم تقف أمـامـهـا كـتلة قـارية مـثل الكتلة التى واجـهت التيارات التى زحـزحت كتلة الهـند .

أما كتلة القـارة الجنوبية (أنتاركـتـيكا) فلم تتزحزح لمسافة بعيدة ، لأنهـا قد دفـعت فى مـواجـهة التـيـارات الصـاعدة التى تولدت أسـفل المحـيط الهـادى .

ويعـتـقـد هـولز أن قـارة لوراسيا وقـارة جندوانا قد تمزقـتا وانتـشـرت أجزاؤهـمـا تجاه المحيط الهادى وبحـر تيثس ، ومن ثم تكونت سلاسل جبلية ضـخـمـة حـول حـواف تلك الكتل المنفـصلة . فـقد نشأت حـول لأجـزاء لوراسيا السـلاسـل الإلتـوائية الحـديثة فـى غرب أمـريكا الشـمـالـية وفى جـزر الهـند الغـربيـة ، كـمـا تكونت أقواس الجـزر فى شـرقى آسيـا والقسم الشـمـالى من مـجـمـوعة سـلاسـل المرتفـعات الألبـيـة التى تمـتـد من جـبل طارق فى جنوب غرب أوروبا حـتى شبـه جزيرة الملايو فى جـنوب شـرق آسـيـا ، ويرى هـولز أن **المحيط المتجمد الشمالى ، والقسم الشمالى من المحيط الأطلسى ما**

هما إلا حوضان قد تكونا نتيجة لتمزق القارة الأصلية وهى لوراسيا وزحزحة أجزائها المحطمة بعيداً عن بعض .

وبالمثل تحيط بأجزاء قارة جندوانا سلاسل جبلية هى : سلاسل الأنديز فى فنزويلا ، والكورديليرا التى تمتد فى غرب أمريكا الجنوبية ، ومرتفعات الأنديز فى القارة القطبية الجنوبية ، ومرتفعات نيوزلندا ونيوجينيا ، والقسم الجنوبى من النطاق الألبى الذى يَمْتَدُّ فى قارة أوروبا وآسيا . وقد تكون **المحيط الأطلسى الجنوبى** نتيجة لزحزحة قارة أمريكا الجنوبية وابتعادها عن أفريقيا .

والنظرية فى مجموعها لها قيمتها وأهميتها ، وإن كانت تستند على عوامل وقوى لم يعرف الكثير عن كنهها بعد ، إذ يشك فى الوجود الفعلى للتيارات الصاعدة ، كما يشك فى إحتمال إستطاعتها ـ إن وجدت ـ أن تحطم وتمزق الكتل القارية ، وتدفع بأجزائها بعيداً عن بعض ، ولعل أهم جوانب النظرية أنها تسمح بإمكانية إفتراض تحركات الكتل القارية فى إتجاهات لا حدود لها .

نظرية الألواح التكتونية
وتمدد وإنتشار القيعان المحيطية

سبق أن ذكرنا أن العالم الألمانى ألفريد فيجنر Alfred L. Wegener (١٨٨٠ ـ ١٩٣٠) قد اقترح توزيعا لليابس فى قارة واحدة هى « بنجايا » وفى محيط واحد عظيم هو « بنثالاسّا » ، وذلك فى الزمن الثانى . ثم تحطمت القارة وتزحزحت فى اتجاهات مختلفة منذ ذلك الزمن ، حتى أصبح توزيع القارات والمحيطات بشكله الحالى . وساق الكثير من الأدلة لإثبات أفكاره ، لكنها لم تحظ بقبول عام .

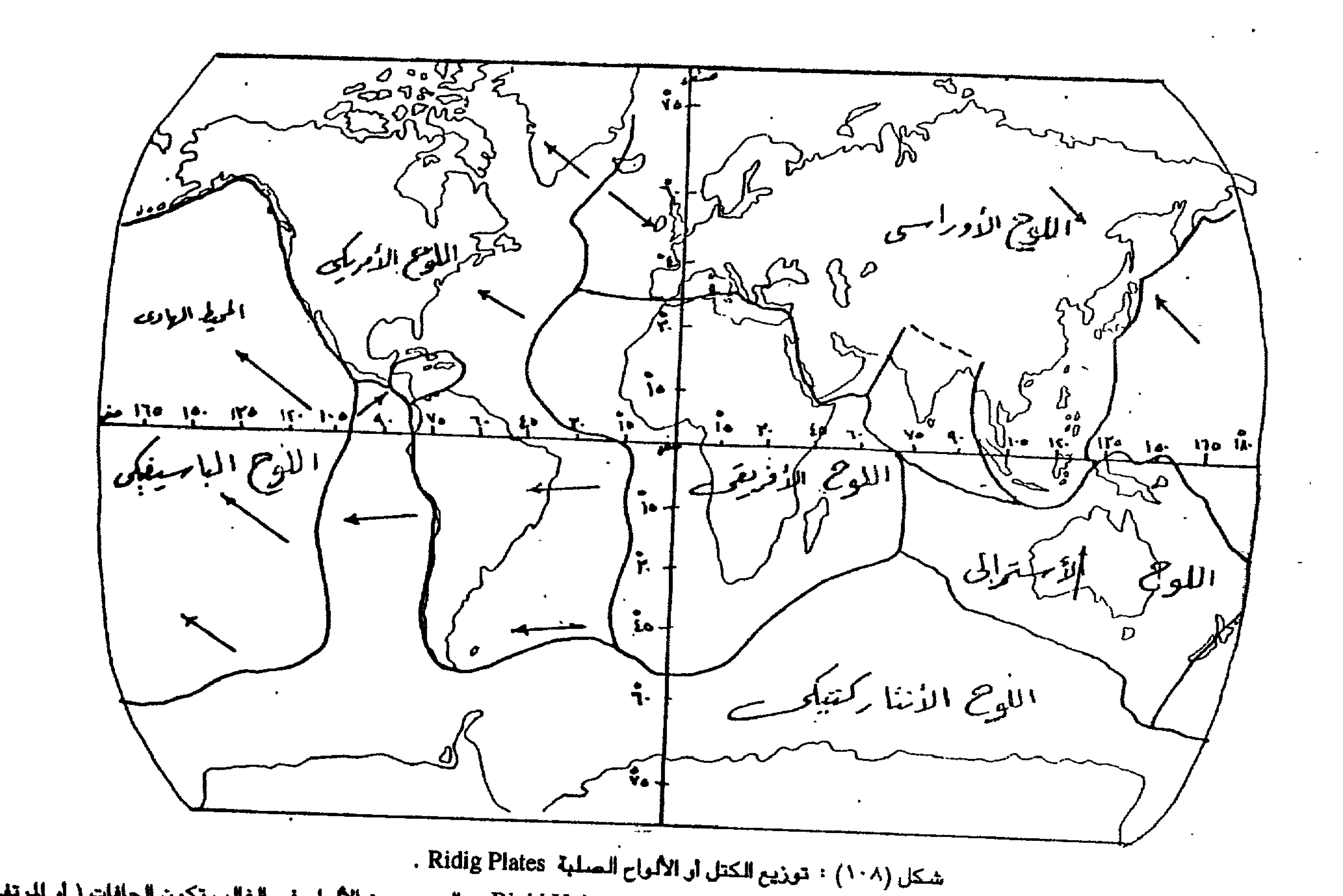
ومنذ أواخر خمسينيات هذا القرن العشرين ، تقدمت الأبحاث

الخاصة بتحركات قشرة الأرض (الغلاف الصخرى) تقدما كبيرا ، وأدّت إلى ظهور نظرة جديدة تُدعى باسم تكتونيات الألواح Plate Tectonics أو الألواح التكتونية Tectonic Plates المصحوبة بتمدّد وانتشار القيعان المحيطية Ocean Floor Spreading ، ولقد أحدثت تلك النظرية ثورة فى فيزياء الأرض Geophsics تشبه الثورة التى أحدثتها أفكار العالم «كوبرنيكوس» فى علم الفلك .

الألواح التكتونية :

تتألف القشرة السطحية للكرة الأرضية إلى عمق يصل إلى نحو مائة كيلو متر من ستة ألواح رئيسية ، يراها البعض عشرة ألواح ، إضافة إلى عدد من الألواح الثانوية . وتتضمن هذه الألواح قشرة الأرض المكونة من مواد السيال والسيما ، وهما يكونان الغلاف الصخرى Lithosphere ، كما أسلفنا . ويُسمى الغلاف العلوى من الوشاح باسم «أستينو سفير Asthenosphere» ، يتكون قسمه العلوى بسمك يتراوح بين ١٠٠ ـ ٢٠٠ كم مواد ليّنة Plastic ، فوقها يطفو الغلاف الصخرى . ولأسباب مجهولة ، لم يتوصل بحاث الچيوفزياء إلى معرفتها بعد ، هناك دورة عامة لتلك الألواح التكتونية ، بموجبها تنزلق Slide أو تزحف فوق الأستينو سفير .

وحينما تتحرك الألواح ، فإنها تنزلق وتتصادم ويسحق بعضها الآخر . وإذا ما كانت حركة أحد الألواح بالنسبة للوح آخر مجاور جانبية ، فإنهما ينزلقان قبالة بعضهما على إمتداد عيوب أو انكسارات مستعرضة Transverse Faults (انكسارات مضرب) . ويُعتبر إنكسار أندرياس San Andereas المشهور بكاليفورنيا خير مثال لتحرك لوحين تكتونيين متلاصقين وانتقالهما أفقيا على امتداده . وحيثما تصادمت الألواح ، وكان التصادم هيّناً نسبيا والحركة بطيئة نوعا ما ، فإن الفرصة تكون سانحة لالتواء القشرة وثنيها ، وبناء سلاسل من الجبال فوق سطح الأرض .



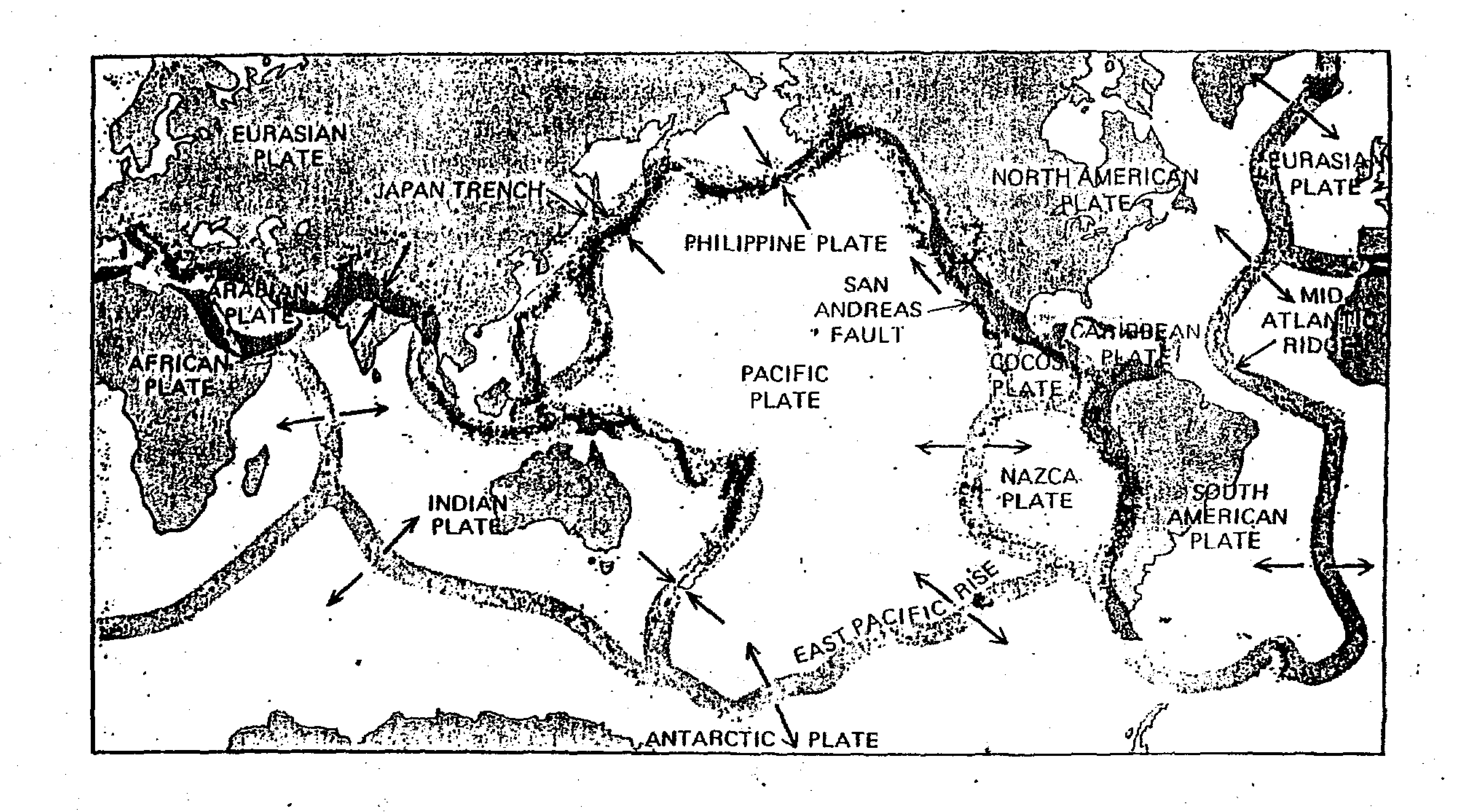
شكل (١٠٨) : توزيع الكتل أو الألواح الصلبة Ridig Plates .

تتألف قشرة الأرض من ستة ألواح أو ست كتل رئيسية ، كل لوح منها تتحرك كوحدة صلبة Rigid Unit . والحدود بين الألواح فى الغالب تكون الحافات (أو المرتفعات) المحيطية الوسطى (Mid-Ocean ridges (or Rises ، ومنها تنتشر الكتل ، إلى الخنادق Trenches (أو إلى نطاقات الجبال الالتوائية) تميل الألواح إلى الإلتقاء ، وتمثل الانكسارات التحولية أو الرئيسية Transform Faults الخطوط التى على امتدادها تنزلق الألواح مارة ببعضها البعض . ويظن أن المراكز البركانية هى التى تسبب هذه الحركات . مكونة حافات بركانية Volcanic Ridges وسلاسل جزرية حيث تتحرك الألواح عبر مركز بركانى . والأسهم تشير إلى اتجاهات تحرك الألواح .

وإذا حدث واقتحم لوحان كل منهما الآخر ، فإن أحدهما لابدّ وأن يغوص أسفل زميله ، ويشق طريقه فى مواد الوشاح . وهذا ما يحدث بالفعل على امتداد الخنادق المحيطية العميقة ، مثل خندق اليابان . وحيثما يحدث أن ينفصل لوحان ، فإن صهير أو ماجما الوشاح تنبثق وتخرج من خلال شقّ الانفصال فيما بين اللوحين ، وتتدفق على الجانبين . وهذا ما يحدث على امتداد سلسلة أو حافة وسط المحيط الأطلسى Mid Atlantic Ridge . وتتركب السلسلة ذاتها من صخور حديثة بردت وتصلبت من مواد الوشاح المنصهرة .

وحالما تتصلب المواد المنصهرة على كلا جانبى حافة المحيط الأطلسى الوسطى ، فإنها تكتسب مغناطيسية دائمة ، وكذلك الحال بالنسبة لجميع سلاسل وحافات المحيطات الأخرى (أنظر اشكال ١٠٠ إلى ١٠٤) وتقاس هذه المغناطيسية بواسطة أجهزة خاصة للقياس على متن سفن الأبحاث الأوقيانوغرافية . وتعرض القياسات العديدة ابتداء من محور الحافة أو السلسلة وبالابتعاد عنها على كلا جانبيها تغيرات واضحة فى قطبية المجال المغناطيسى للأرض . وقد أمكن عن طريق دراسة التسلسل الزمنى لتغيرات القطبية المغناطيسية ، وتعيين خطوط الزوال المغناطيسى لكل عصر من العصور الجيولوجية ، الاستدلال على مقدار سرعة انفصال الألواح على كلا جانبى الحافة فى مختلف الأعصر الجيولوجية ، وكذلك بالنسبة لتحركات وزحزحة الألواح الأخرى على جوانب الحافات أو السلاسل العظمى فى مختلف المحيطات ، وإجراء المقارنات بينها جميعا .

وقد دلّت مختلف الدراسات على أن الحدود التى تفصل بين الألواح التكتونية (شكل ٩٨) هى بمثابة نطاقات تكثر وتزداد فيها الثورانات البركانية والهزات الزلزالية عن المتوسط . وينشأ عن الضغوط الهائلة المتراكمة فى نطاقات العيوب والانكسارات حيثما تحدث إزاحات للألواح التكتونية ، عمليات « تنفيس أو تفويت » مصحوبة بزلزلات فجائية .



شكل (١٠٩) : خريطة لتوزيع الألواح التكتونية .
توضحُ النقاط السوداء مناطق النشاط الزلزالى الذى يتفق توزيعه مع حدود الألواح التكتونية . وتشير الأسهم إلى اتجاهات تزحزح وتحرك الألواح .

وتُمثّلُ حدود الألواح التكتونية أيضا نطاقات ضعف خلالها تنبثق المواد المنصهرة إلى سطح الأرض لتكوّن جبالا بركانية . ويشتد النشاط البركانى ويعظم بطبيعة الحال على امتداد محور المسافات المحيطية . فلقد تكونت جزيرة أيسلندا ، وما تزال تكبر وتنمو ، فوق أعالى حافة الأطلسى الوسطى بواسطة مثل هذا النشاط البركانى ، كما وأن النشاط البركانى فى محور حافة (مرتفع Rise) شرق المحيط الهادى ، هو المسئول عن تكوين جزيرة إيستر Easter Island .

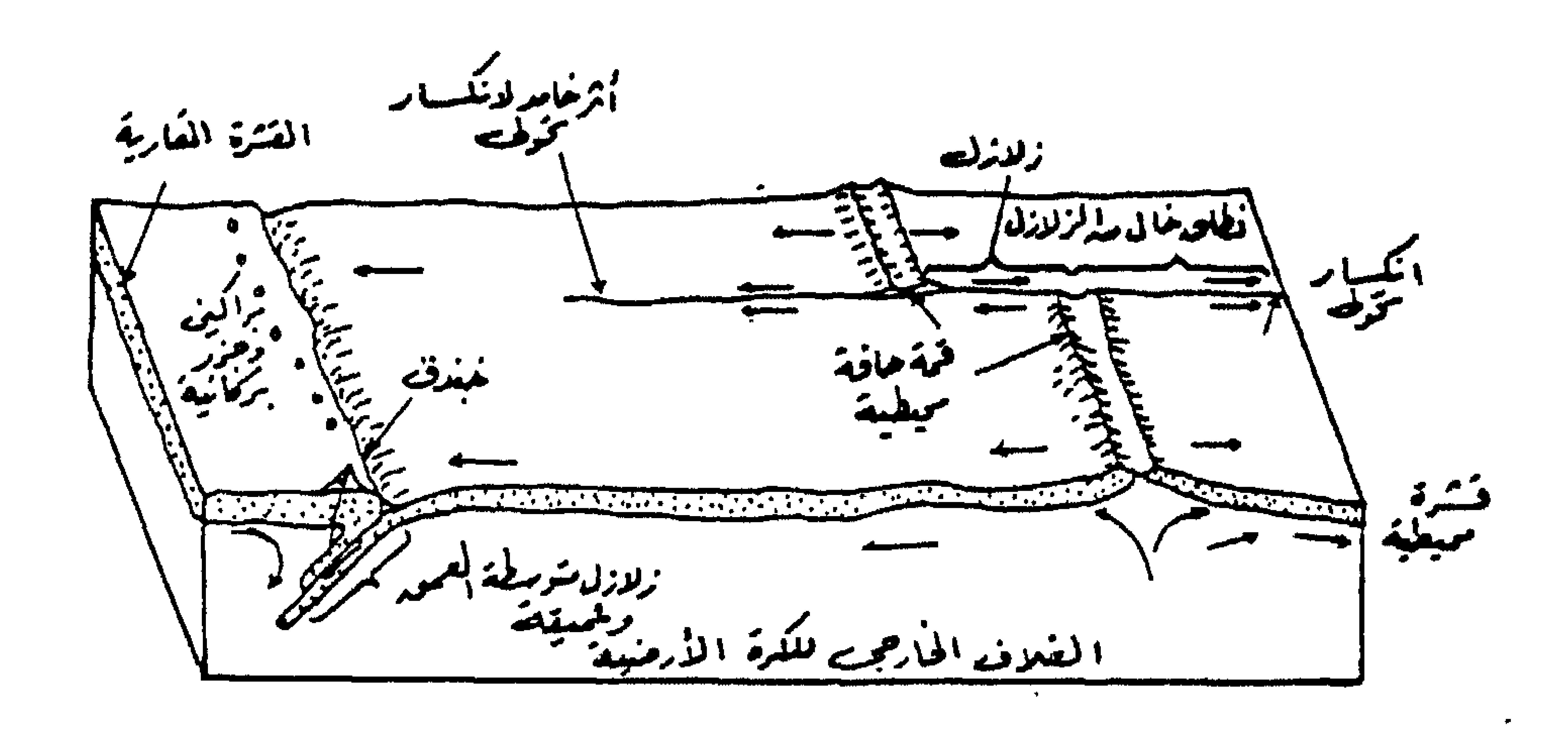
الزحزحة القارية فى نظرية الألواح التكتونية :

لقد أمكن الاستدلال على أن جميع القارات الحالية كانت فى زمن مضى كتلة واحدة ضخمة من اليابس ، وذلك عن طريق إقتفاء آثار حركة الألواح التكتونية فى مختلف الأعصر الجيولوجية ، مع إمكانية المزاوجة بين هوامش الأرفف القارية ، تلك الكتلة التى أطلق عليها « ڤيجنر » قارة بنجايا Pangaea . وقد تحطمت القارة منذ نحو ٢٠٠ مليون سنة ، بسبب تحرك الألواح التكتونية ، حاملة معها القارات ومُسببة للزحزحة « أو الزحف » القارى Continental Drift .

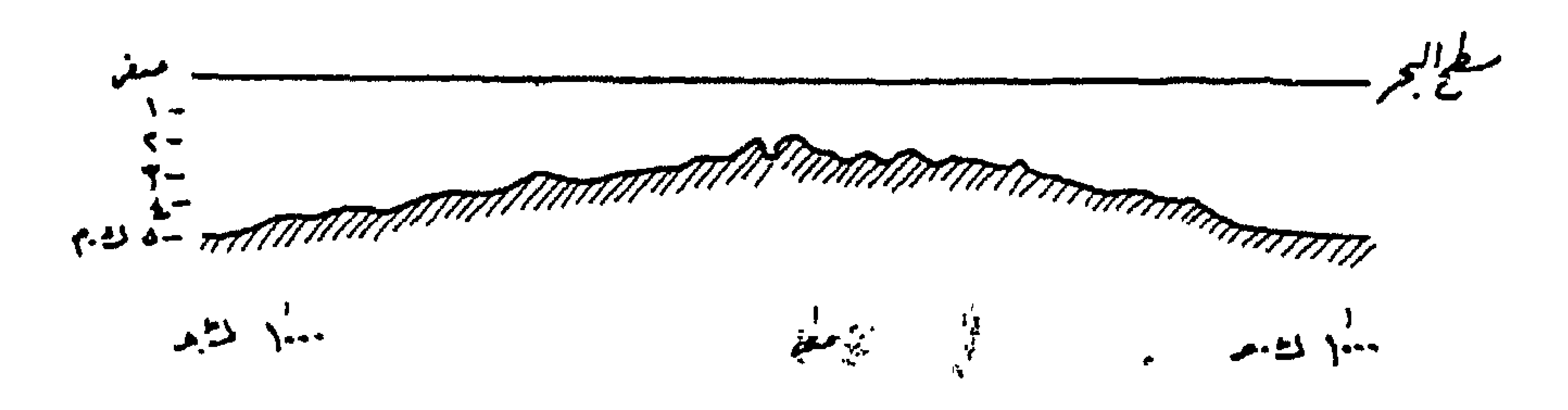
وقد تبيّن أن الألواح التى يتكوّنُ معظمها من قيعان محيطية هى الأسرع فى الحركة والزحزحة ، إذ تبلغ سرعتها فى المتوسط ١٠ سم فى السنة . ولعل أسرع الألواح حركة اللوح الباسفيكى المتاخم لحافة أو سلسلة مرتفع شرق المحيط الهادى East Pacific Rise (عند إيستر أيلاند Easter Island) ، فهو ينفصل ويبتعد عن لوح نازكا Nazca Plate بمعدل ٢٠ سم فى السنة . أما الألواح التى يتكوّنُ معظمها من يابس (من قارة) فإنها تتحرك وتتزحزح بسرعة متوسطها ٢ سم فى السنة . وتلك هى سرعة ابتعاد قارة أوروبا عن قارة أمريكا الشمالية فى وقتنا الحالى .

شكل (١١٠) : خريطة تقريبية للأرض كما كانت منذ نحو ٢٠٠ مليون سنة .
يُعتقد أن القارات آنذاك كانت مجتمعة فى قارة واحدة عظمى ، هى قارة بنجايا Pangaea . تُوضِّح الأسهم اتجاهات تحرك الكتل القارية أثناء المائتى مليون سنة الأخيرة ، لتتخذ مواقعها الحالية .

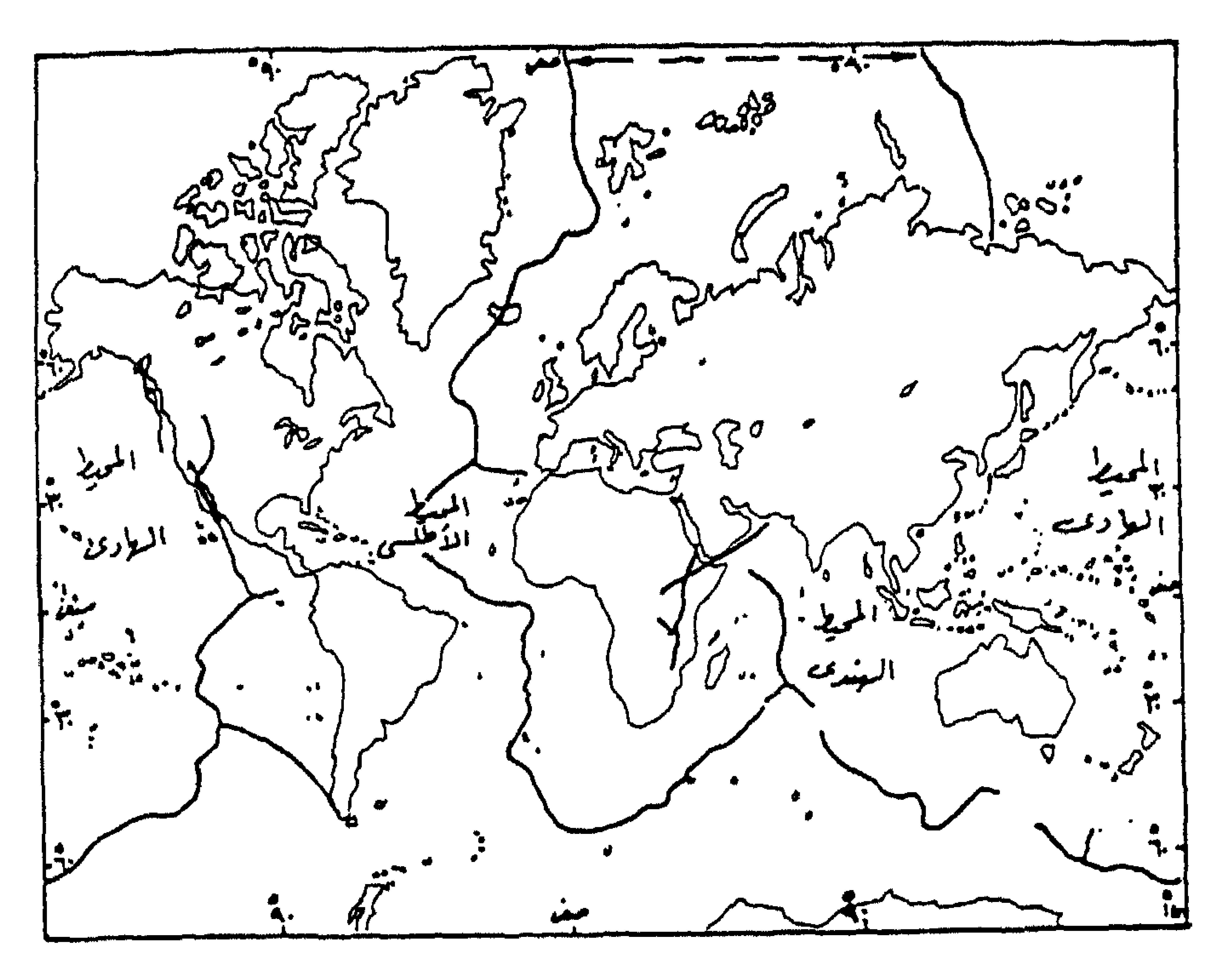
وتتحرك أمريكا الشمالية نحو الغرب بالقياس لأمريكا الجنوبية بسرعة معدلها سنتيمترا واحدا فى السنة . ولعله من الطريف أن نذكر أن اللوح الباسفيكى يتضمّنُ شريحة من الساحل الغربى لأمريكا الشمالية . وقد تسبَّبت حركته فى اتجاه الشمال الغربى بالنسبة للوح أمريكا الشمالية بمعدل ٣ سم فى السنة (على طول انكسار سان أندرياس) فى فصل باجا كاليفورنيا Baja California عن أراضى المكسيك منذ نحو خمسة ملايين سنة مضت . ويعتقد أن هذا القسم بالإضافة إلى قسم آخر من غرب كاليفورنيا سوف ينفصلان ، ويكونان جزيرة ، وتصبح لوس أنجلس بعيدة عن ساحل سان فرنسيسكو . وبالمثل ستصبح منطقة القرن الأفريقى جزيرة منفصلة عن القارة الأم فى مستقبل الزمن .



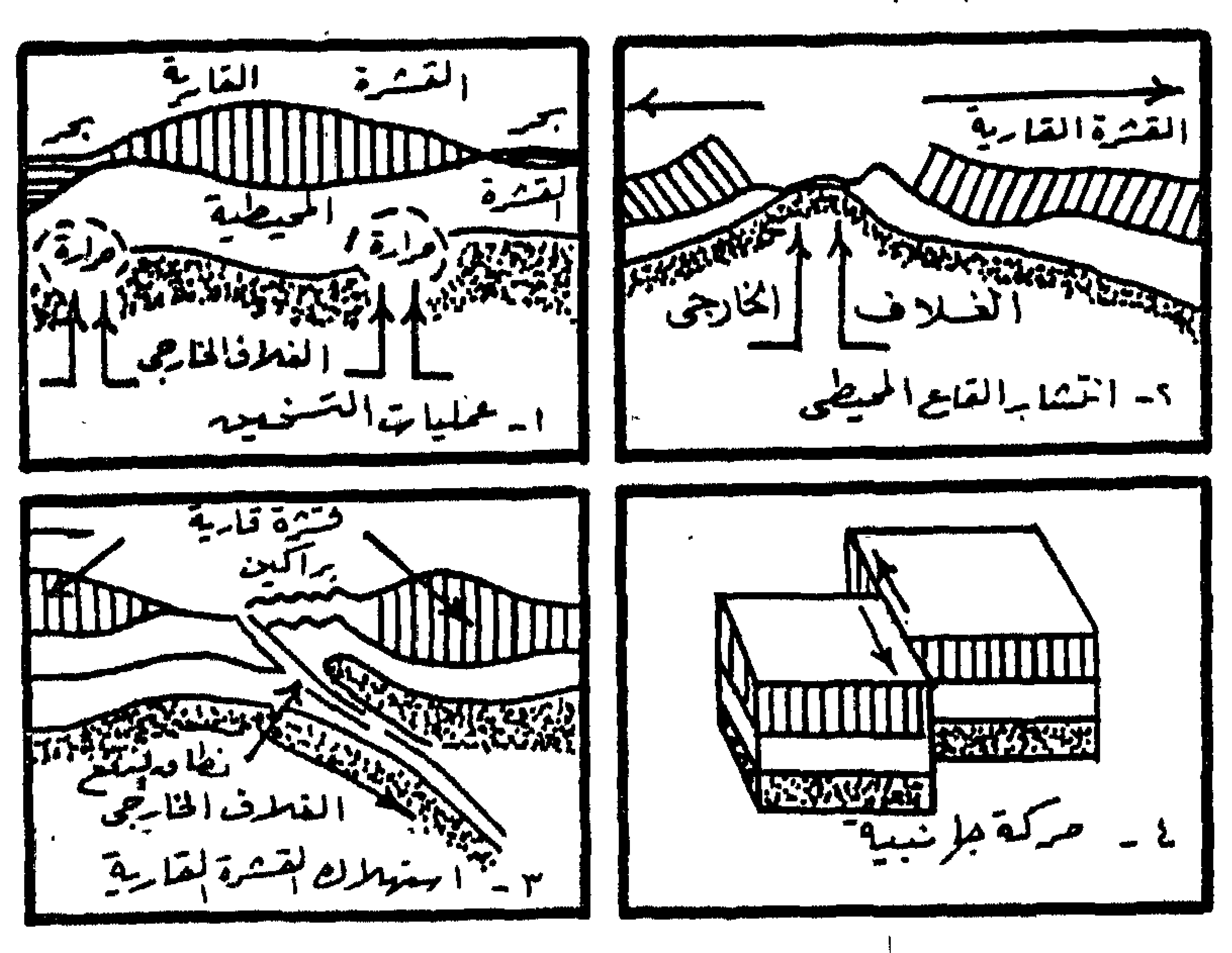
شكل (١١١) : تمثيل تخطيطي للقشرة المحيطة .
قشرة جديدة تتكون عند الحافات المحيطية الوسطى ، وتتحطم عند الخنادق .



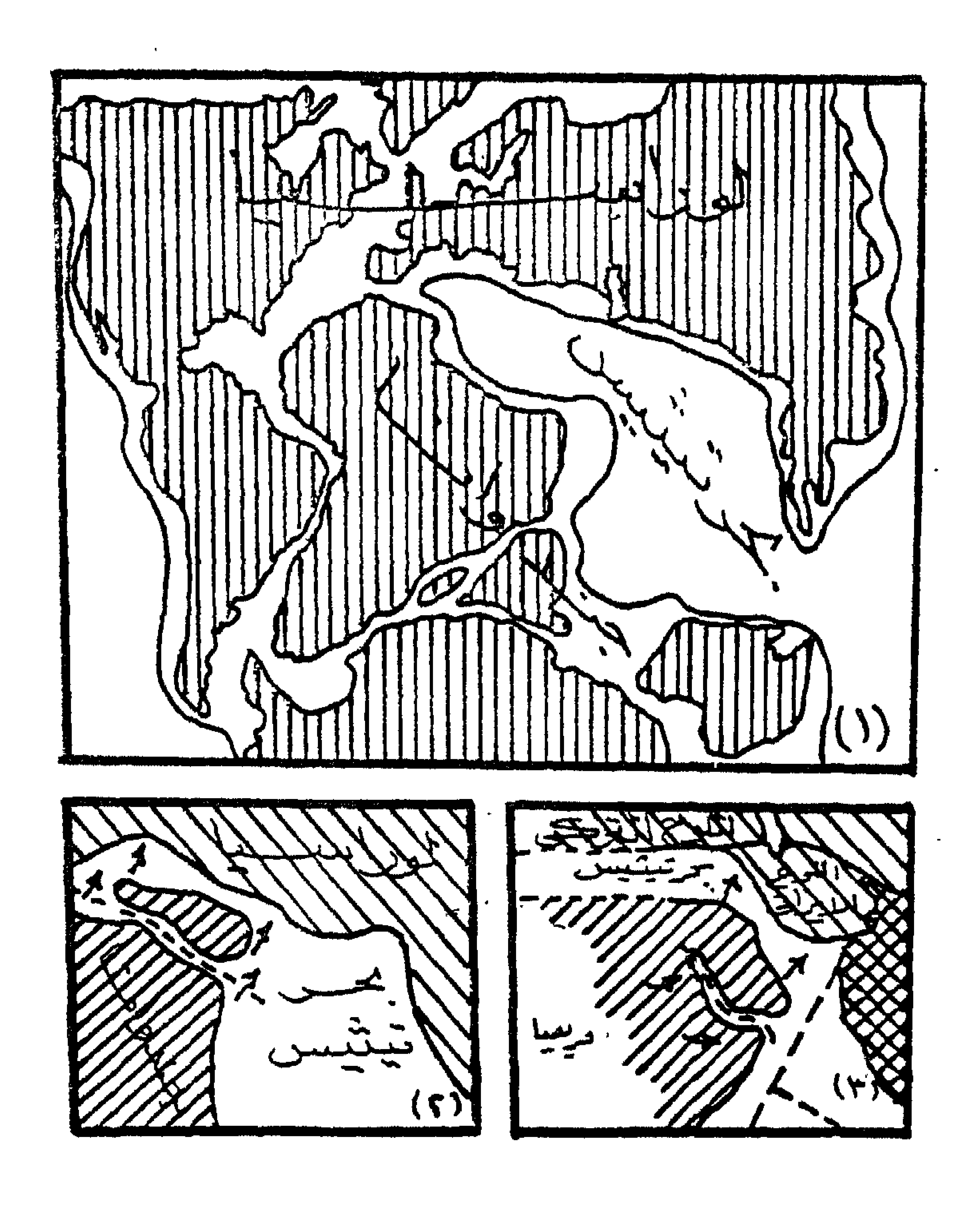
شكل (١١٢) : قطاع مثالى لحافة المحيط الأطلسى الوسطى Mid-Atlantic Ridge وتوجد حافات مشابهة فى كل المحيطات ، لكنها فى العادة لا تبدو منتظمة بالشكل الذى تبدو به حافة الأطلسى .



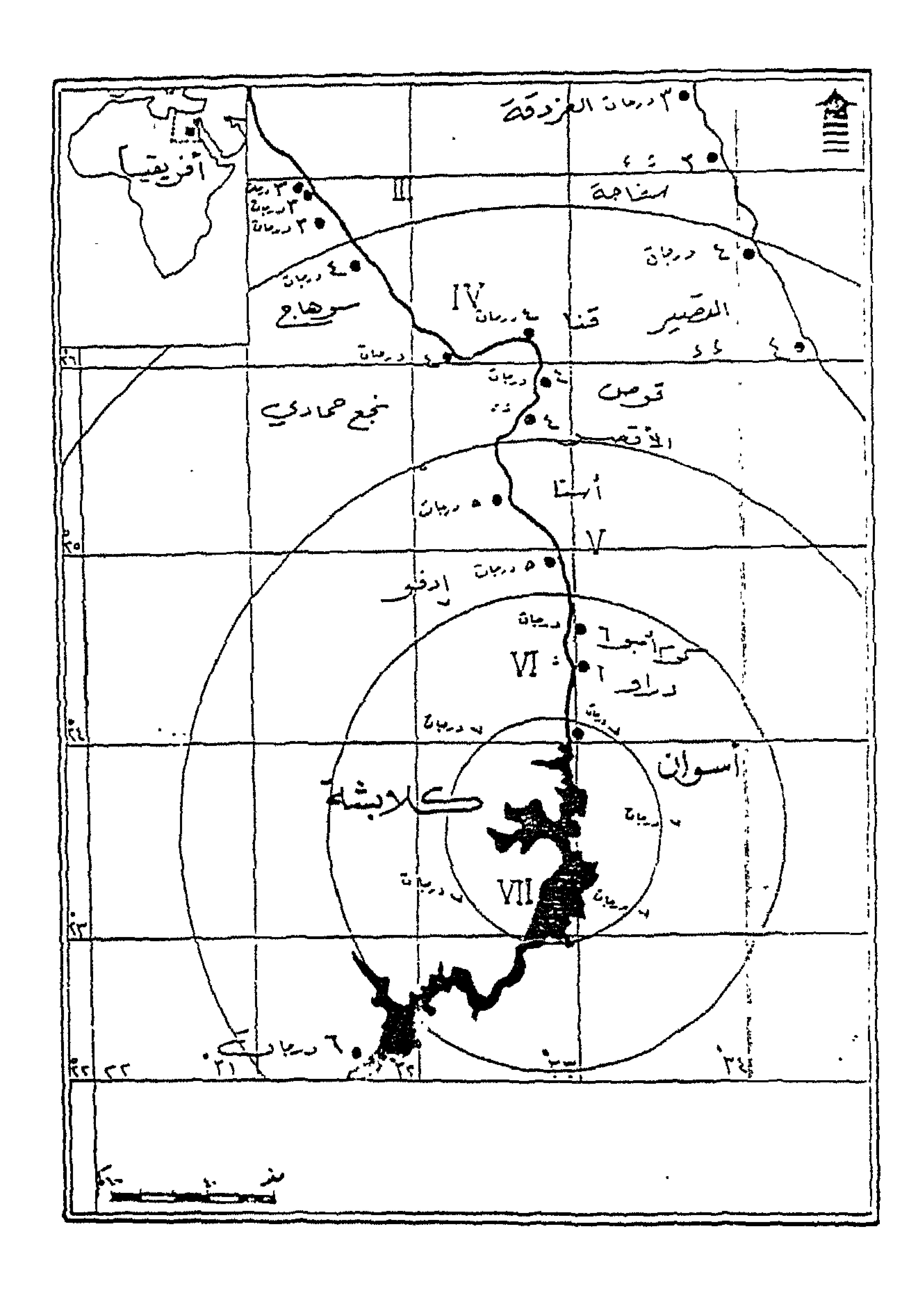
شكل (١١٣) : توزيع حافات أواسط المحيطات Mid - Oceanic Ridges .



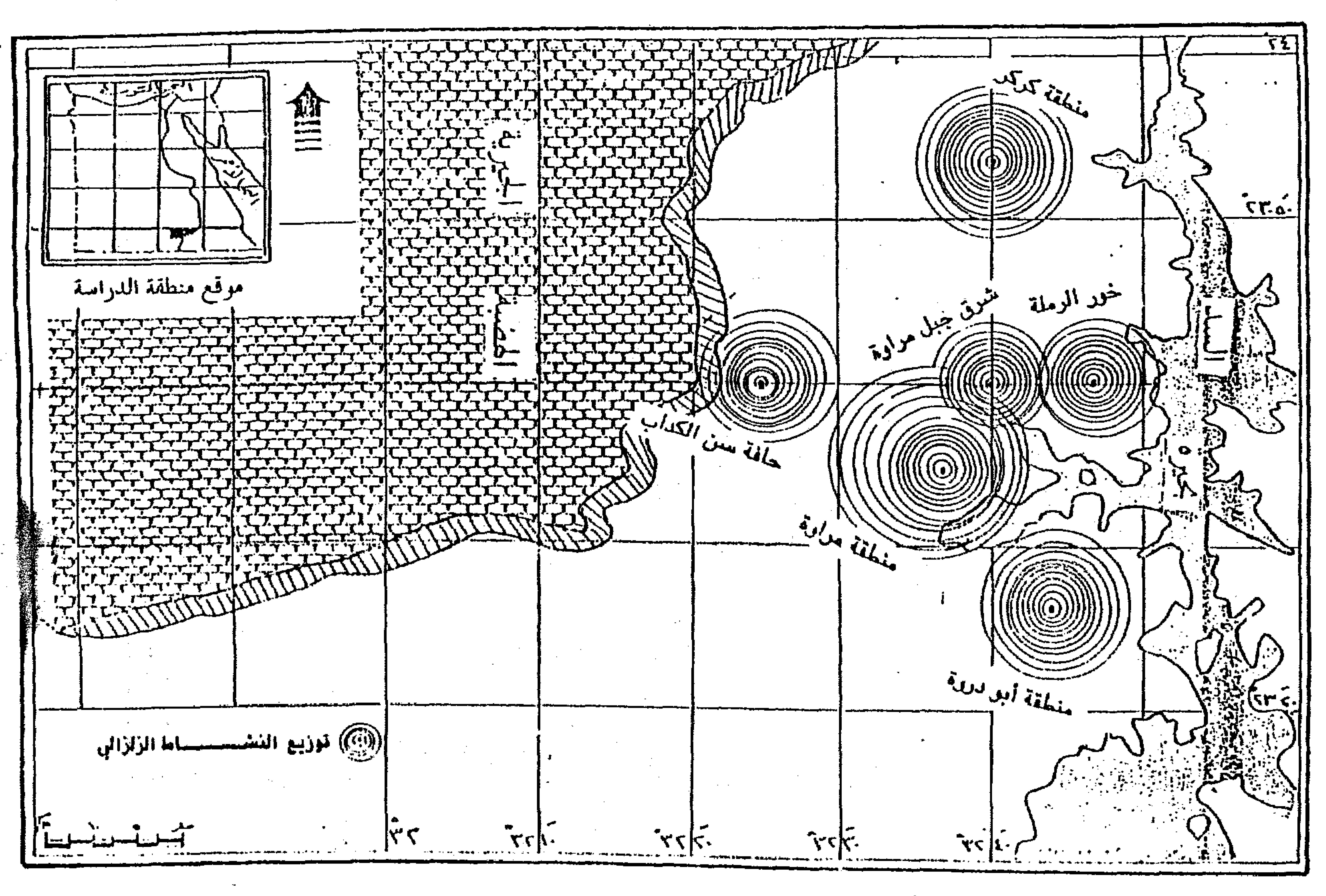
شكل (١١٤) : تكوين وتطور الألواح التكتونية



شكل (١١٥) : تطور بحر تيثيس بالنسبة للوطن العربي في العصرين الترياسي والجوراسي وما بعدهما.



شكل (١١٦) : توزيع شدة الزلازل بمنطقة كلابشة (١٤ نوفمبر ١٩٨١م) حسب المقياس الروسي .



شكل (١١٧) : التوزيع الأفقي للنشاط الزلزالي لمنطقة كلابشة

الفصل الحادى عشر
الزلازل وكوارثها

تعريف الزلازل :

عبارة عن هزات أرضية تصيب قشرة الأرض ، وتنتشر فى شكل موجات خلال مساحات شاسعة منها . وتعانى قشرة الأرض دائماً من الحركات الموجية نظراً لعدم استقرار باطنها ، إلا أن مثل هذه الهزات المستديمة تكون عادة من الضعف بحيث لا نشعر بها . ودراسة الزلازل لا شك مهمة لأنها تتصل اتصالاً مباشراً بحياة الإنسان ونشاطه على وجه الأرض . فقد سجل الكثير من الزلازل المدمرة أثناء العصر التاريخى وذكر منها الآلاف وقد أثبتت الدراسات الجيولوجية أن قشرة الأرض كانت تعانى دائماً خلال عمر الأرض الطويل من الهزات الزالزالية . وتشير تلك الدراسات أيضاً إلى استمرار حدوثها فى المستقبل . ويعنى بدراسة الزلازل علم مستقل بذاته يسمى علم الزلازل Seismology ، وهى كلمة مأخوذة من الكلمة اليونانية Seismos ومعناها زلزال .

منشأ الزلازل

هناك عدة أنواع من الزلازل بحسب القوى التى تسببها :

١ - زلازل بركانية Volcanic Earthquakes :

ويرتبط حدوثها بالنشاط البركانى . ففى شبه جزيرة كمتشاتكا Kamchatka فى شمال شرقى أسيا كثيراً ما يسبق انفجار البراكين أو يصحبها هزات عنيفة مدمرة . وقد صحب ثوران بركان « مونالوا » Mauna Loa وبركان « كيلويا » Kilauea فى جزر « هاواى » Hawai

زلازل غاية فى العنف والقوة ، وحينما ثار بركان كراكاتاو Krakatau الواقع فى خليج « سوندا» Sünda بين جزيرتى سومطره وجاوه فى عام ١٨٨٣ أحدث الكثير من التدمير والتخريب ، فقد أدى الانفجار إلى إحداث هزات عنيفة أثارت مياه البحر فى شكل أمواج ضخمة عارمة ، أغارت على السهول الواقعة فى الجزر القريبة منها فأغرقتها ، ودمرت المنازل وشردت العديد من السكان وأحدثت خسائر فادحة لسكان جزيرتى سومطره وجاوه والجزر الأخرى المجاورة .

ومع هذا فإن معظم الهزات الزلزالية التى تحدث بسبب النشاط البركانى هى فى الواقع هزات محلية لا تؤثر فى مساحات كبيرة ، كما أن كثيراً من الثورانات البركانية لا تصحبها هزات زلزالية ، أو قد تصحبها هزات ضعيفة ، كالتى صحبت انفجار « مونت بيلى » Mont Pelee المدمر فى عام ١٩٠٢ فى جزيرة المرتنيك Martinique (من جزر الهند الغربية). وقد كان يعتقد أن النشاط البركانى مصدر هام للهزات الزلزالية ، ولكن الدراسات الدقيقة التى أجريت فى اليابان على الخصوص قد أثبتت أنه ليس هناك ارتباط حتمى بين النشاط البركانى والزلازل العنيفة .

٢ - زلازل تكتونية Tectonic Earthquakes :

وتحدث فى المناطق التى تصيبها الانكسارات والعيوب ، وتتعرض للتصدع ، وهذا النوع شائع كثير الحدوث . وهو يتركز على الخصوص فى القشرة السيالية على أعماق تصل إلى ٧٠ كم .

٣ - زلازل بلوتونية Plutonic Earthquakes :

ويوجد مركزها على عمق سحيق من الأرض ، فقد سجلت زلازل على عمق ٨٠٠ كم فى نطاق بحر أخوتسك Okhotsk فى شرقى آسيا .

ويحدث النوعان الأخيران من الزلازل - التكتونى والبلوتونى - على

الخصوص نتيجة لتحركات فى قشرة الأرض وما تحتها . وهناك الكثير من الأدلة والشواهد المقنعة تشير إلى أن معظم الهزات الأرضية الرئيسية تحدث نتيجة لضغوط عنيفة فجائية فى قشرة الأرض ، ينجم عنها تصدع وانكسار وانتقال الطبقات على طول خطوط انكسارات وعيوب قديمة كانت موجودة بالفعل .

لا تكون قوة الزلزال واحدة على سطح الأرض ، وتبلغ قوته ذروتها عند نقطة على سطح الأرض تسمى **بالمركز السطحى** . وفى أسفلها فى اتجاه عمودى تقع نقطة أخرى هى نقطة مولده ، وتسمى **بالمركز الداخلى** للزلزال وفيه تنشأ الهزات العنيفة التى تحدثها ذبذبات تماوجية تصل فى اتجاه رأسى إلى المركز السطحى ، كما تنتشر فى اتجاهات متباينة أخرى إلى جميع أجزاء جرم الأرض . .

قوة الزلازل ومدى تأثيرها فى مناطق العمران :

تتباين الهزات الأرضية فى درجة قوتها . فمنها الضعيف الذى يحدث ولا يكاد يحس به أحد ، ومنها العنيف المدمر الذى يسبب خسائر كبيرة فى مناطق العمران . ولكى نتمكن من المقارنة بين درجة تأثير مختلف الهزات الزلزالية ونتائجها فى مختلف الأماكن ، فقد أنشأ المختصون بالدراسات الزلزالية مقياساً لمعرفة درجة التأثير يبدأ من الرقم ١ وينتهى بالرقم ١٢ ، هذا المقياس توضحه القائمة التالية :

القوة	درجة الاهتزاز	مظاهر التأثير
١	بالغة الضعف	لا يحس بها سوى آلات التسجيل الزلزالية .
٢	ضعيفة جداً	لا يشعر بها سوى سكان الطوابق العلوية من المبانى .
٣	ضعيفة	لا يحس بها إلا عدد قليل من الناس .

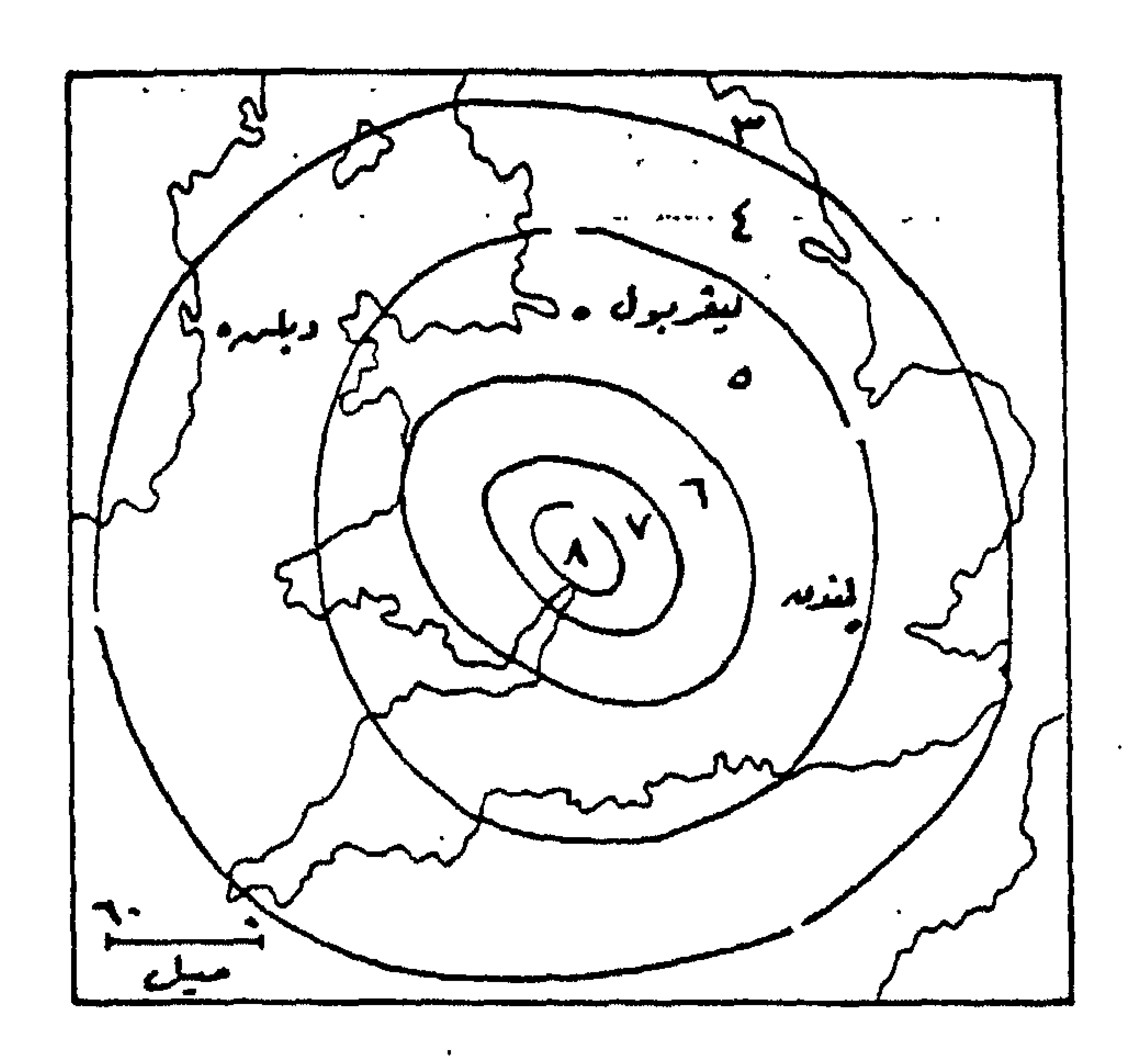
القوة	درجة الاهتزاز	مظاهر التأثير
٤	متوسطة	يحس بها معظم الناس فى المبانى ، وبعض سكان الأدوار الأرضية . وهى لا تثير الخوف . وتسبب اهتزاز النوافذ والأبواب ، وتتذبذب الأشياء المعلقة قليلاً .
٥	محسوسة	يشعر بها كل من فى المنازل ، وبعض من فى خارجها ، وتوقظ النائمين ، وتثير الخوف عند بعض الناس . تغلق الأبواب بسببها وتفتح ، وتهتز الأشياء المعلقة بشدة .
٦	قوية	يشعر بها كل من فى داخل المبانى ، ويندفع كثير منهم إلى الشوارع فزعين ، وتسقط الأشياء من على الرفوف فى المنازل ، وتحدث شروخ فى طلاء الجدران ، وتسبب تلفاً طفيفاً فى المنازل الصغيرة .
٧	عنيفة	تثير الخوف والرعب . يشعر بها من فى المنازل ومن بخارجها . يندفع الناس إلى الشوارع فى رعب ، وتدق بسببها أجراس الكنائس ، وتحدث بعض الأضرار لكثير من المبانى .
٨	مخربة	تثير الرعب . تحدث أضراراً متوسطة للمبانى، وتخرب بعض المنازل . لا ينجم عنها خسائر فى الأرواح ، ولكنها تؤذى بعض الناس .
٩	مدمرة	تتحطم بعض المبانى كلية . وكثير منها يصاب بتخريب شديد ، ويلقى قليل من الناس مصرعهم .

القوة	درجة الاهتزاز	مظاهر التأثير
١٠	شديدة التدمير	كثير من المباني تتحطم عن آخرها ، كما يصرع العديد من الناس . تظهر بعض الشقوق في قشرة الأرض ، وتبدأ عمليات الانزلاق الأرضي في المرتفعات .
١١	بالغة التدمير	تتحطم المباني الحجرية عن آخرها . تلتوى العمد الحديدية . تتحطم السدود والقناطر . تظهر شقوق متسعة في الأرض . يحدث الكثير من الانهيارات الأرضية .
١٢	شاذة التدمير مفجعة	تتحطم جميع المباني بلا استثناء . وتتشق الأرض ويحدث انتقال موضعي للطبقات الصخرية أفقياً ورأسياً . وتهبط السواحل وتغوص أجزاء منها في مياه البحر .

وبناء على هذا المقياس تقسم المساحة التي يصيبها زلزال إلى نطاقات تتباين من حيث شدة إصابتها بتأثيره . وتحيط بهذه النطاقات مساحة مركزية تبلغ فيها شدة التأثير أقصاها ، وشكل النطاقات دائرية أو بيضاوي (شكل ١١٨) ولكن حين يحدث الزلزال على طول انكسار . فإن النطاقات عندئذ لا تكون دائرية أو بيضاوية ، وإنما تكون مستقيمة لمسافات طويلة موازية لخط الانكسار كما هي حال زلزال عام ١٩٠٦ في كليفورنيا (شكل ١١٩) .

التوزيع الجغرافي للزلازل :

على الرغم من أن الهزات الأرضية ظاهرة شائعة في جميع أنحاء الأرض، إلا ان ما يحدث منها على اليابس يتركز في مناطق معينة،

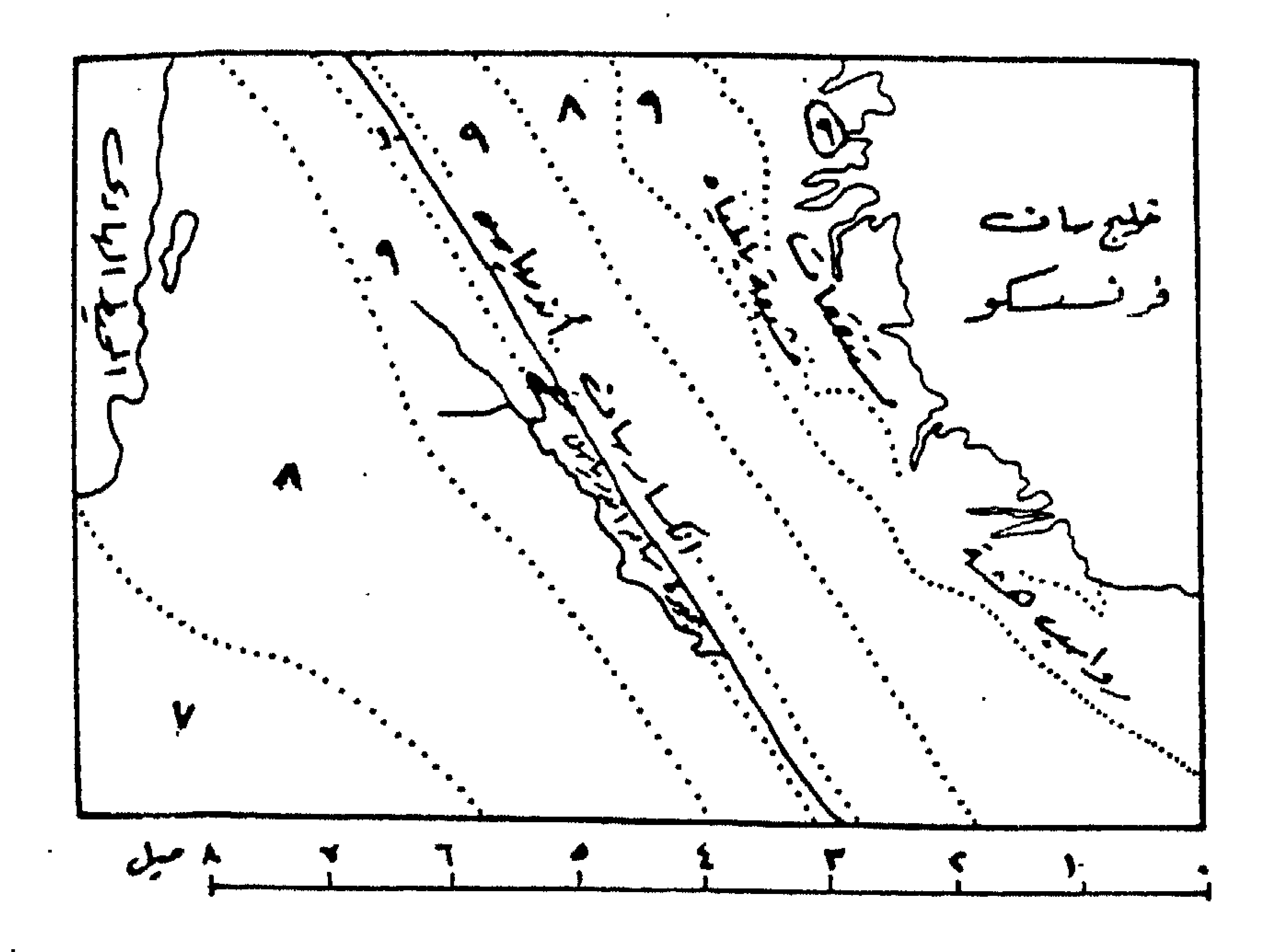


شكل (١١٨) : توضح الخريطة مدى شدة وكثافة زلزال حدث قرب هيرفورد Hereford بانجلترا فى عام ١٨٩٦ ، وتشير الأرقام إلى قوة الزلزال فى مختلف النطاقات .

ومعظمها يقع ضمن ثلاثة نطاقات كبيرة هى :

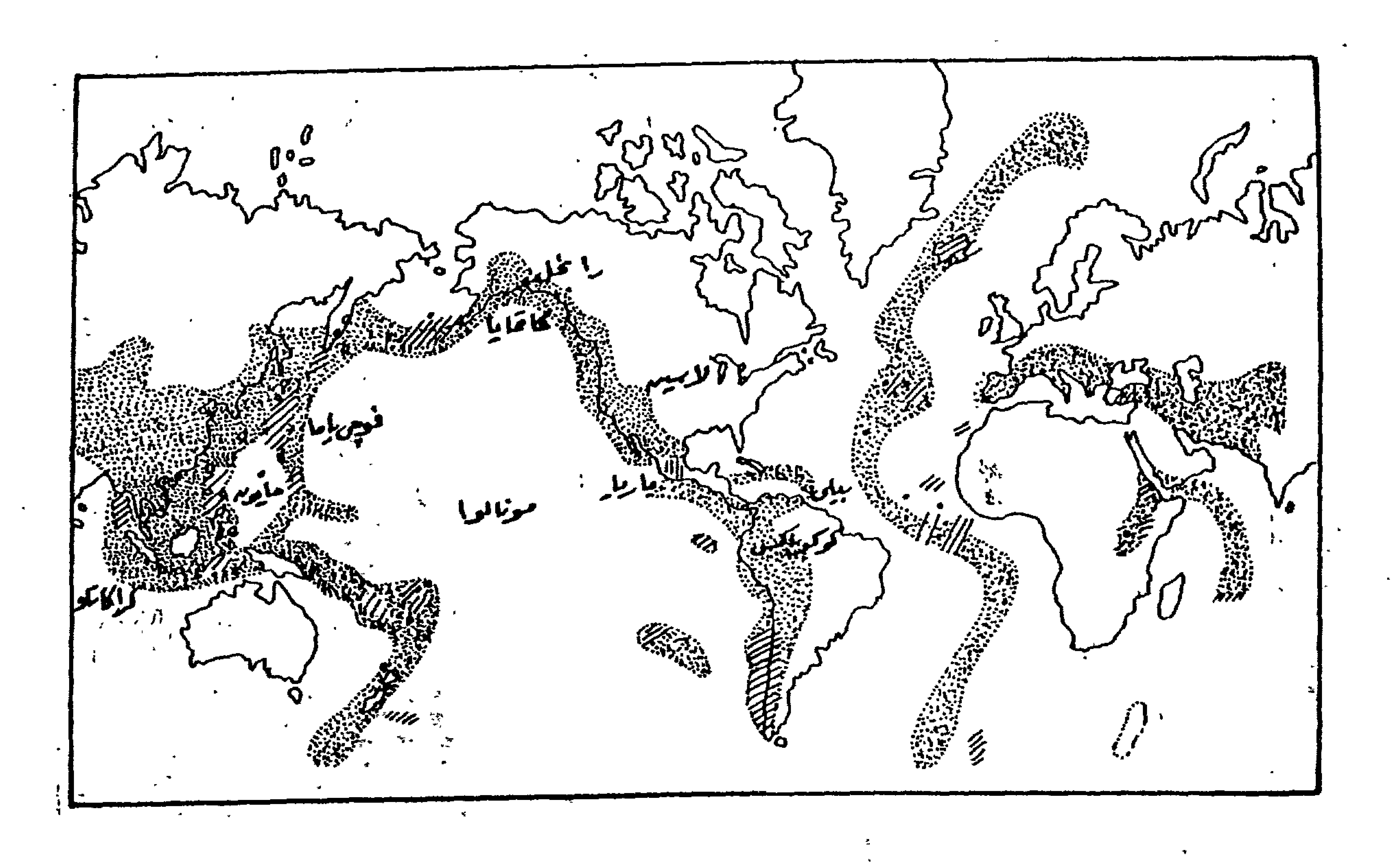
١ ـ نطاق يمتد فوق سلاسل المرتفعات التى تحيط بسواحل المحيط الهادى فى أمريكا الجنوبية وأمريكا الشمالية وآسيا ، ويتضمن الجزر وأشباه الجزر التى تكتنف تلك السواحل وكذلك الجزر كجزر الوشيان واليابان والفلبين .

٢ ـ نطاق يمتد فوق ساحل البحر المتوسط ويشمل مرتفعات الألب والقوقاز ، ويمتد شرقاً ليشمل مرتفعات الهيمالايا إلى جزر إندونيسيا ، وهناك يلتقى بالنطاق الأول .



شكل (١١٩) : نطاقات شدة زلزال عام ١٩٠٦ فى القسم الأدنى من شبه جزيرة سان فرنسيسكو ، تشير الأرقام إلى درجات الشدة فى مختلف النطاقات . وقد بلغ الزلزال اقصى شدته فى نطاق ضيق على جانبى انكسار أندرياس ، وتناقصت الشدة بوجه عام على كلا جانبيه باستثناء النطاق القريب من خليج سان فرنسيسكو الذى يتركب من رواسب مفككة ، ففيه بلغت الشدة درجة كبيرة . وتتباين الصخور فى درجة تأثرها بالزلازل حسب نوعها وطبيعتها ، وهذا يؤدى إلى عدم انتظام توزيع النطاقات . اما نطاق المستنقعات فهو غير مأهول بالسكان ، ولهذا فشدة الزلزال فيه مجهولة .

٣ ـ نطاق يشمل منطقة الأخاديد بشرق افريقيا وجنوب غرب أسيا ، ويرتبط حدوث الزلازل بهذا النطاق بوجود الانكسار الافريقى العظيم ، الذى أصاب قشرة الأرض فى أواخر الزمن الجيولوچى الثانى ، واستمر تكوينه أثناء الزمن الثالث . ويعتقد بعض الچيولوچيين أن نشاط الانكسار مازال دائباً فى بعض المناطق حتى الوقت الحاضر .



شكل (١٢٠) : : توزيع نطاقات الزلازل والبراكين على سطح الأرض . الدوائر السوداء الصغيرة تمثل البراكين النشطة والبراكين الساكنة حالياً . وتمثل المساحات المظللة بالنقط النطاقات التى تتعرض للهزات الزلزالية . أما الأجزاء المظللة بالخطوط المائلة فتمثل المساحات التى تصيبها زلازل عنيفة .

ويتفق توزيع هذه النطاقات إلى حد كبير مع توزيع النطاقات البركانية . وقد تبدو هذه الحقيقة مؤيدة للرأى القائل بأن النشاط البركانى له أهمية كبيرة فى إحداث الزلازل . ورغم هذا يمكن القول بأن توزيع النطاقات الزلزالية البركانية يتفق مع توزيع سلاسل المرتفعات الحديثة التى تمثل مناطق ضعف واضطراب فى قشرة الأرض . ولهذا يحتمل أن منشأ الزلازل والبراكين إنما يرجع إلى سبب مشترك ، وهو الاضطراب الذى يحدث فى مناطق الحركة والضعف فى قشرة الأرض .

وعدا هذه النطاقات الثلاثة هناك نطاق رابع بحرى يمتد فى المحيط الأطلسى من الشمال إلى الجنوب ويتفق توزيع الزلازل فيه مع حافات بحرية غائصة تعد من مناطق الضعف فى قاع المحيط ، وذلك لوجودها بين حوضين محيطيين عميقين مما يجعلها عرضة للتقلقل والاضطراب .

الزلازل البحرية :

منذ أن أخترعت الآلات الحساسة التى يمكن بواسطتها تسجيل الهزات الأرضية البعيدة المدى وتعيين مواقعها ، أمكن التعرف على كثير من الزلازل التى تنشأ فى قيعان المحيطات .

وأهم ما يميز الزلازل البحرية هى تلك الأمواج الضخمة العاتية التى يسببها الاضطراب الذى تحدثه الهزات الزلزالية فى قاع المحيط . وقد كانت تلك الأمواج تعرف خطأ بأمواج المد مع أنها لا تمت بصلة لحركات المد والجزر . وتعرف هذه الأمواج الآن باسم يابانى هو تسونامى Tsunami ، ويطلق عليها أيضاً تعبير الأمواج الزلزالية البحرية Seismic sea waves .

وبعض هذه الأمواج عظيم الضخامة ، إذ يبلغ طول الموجة أحياناً بين ١٥٠ ـ ٣٠٠ كيلو متراً ، ويبلغ ارتفاعها نحو ١٢ متراً . وهى تبدو طويلة متسعة فى عرض المحيط بحيث قد لا تشعر بضخامتها السفن التى

تجوب مياه المحيط ، ولكنها حين تقترب من السواحل تتحول إلى أمواج ضخمة عاتية ترتطم بالسواحل وتتوغل فى اليابس ، وتتسبب فى أضرار بالغة ، ويذهب ضحيتها العديد من الناس . وتسير هذه الأمواج الضخمة فى المحيطات بسرعة كبيرة تتراوح بين ٥٠٠ ـ ٨٠٠ كيلو متر فى الساعة.

وتحدث أمواج التسونامى أساساً فى المحيط الهادى ، ويقل حدوثها فى المحيط الأطلسى وفى البحر المتوسط .

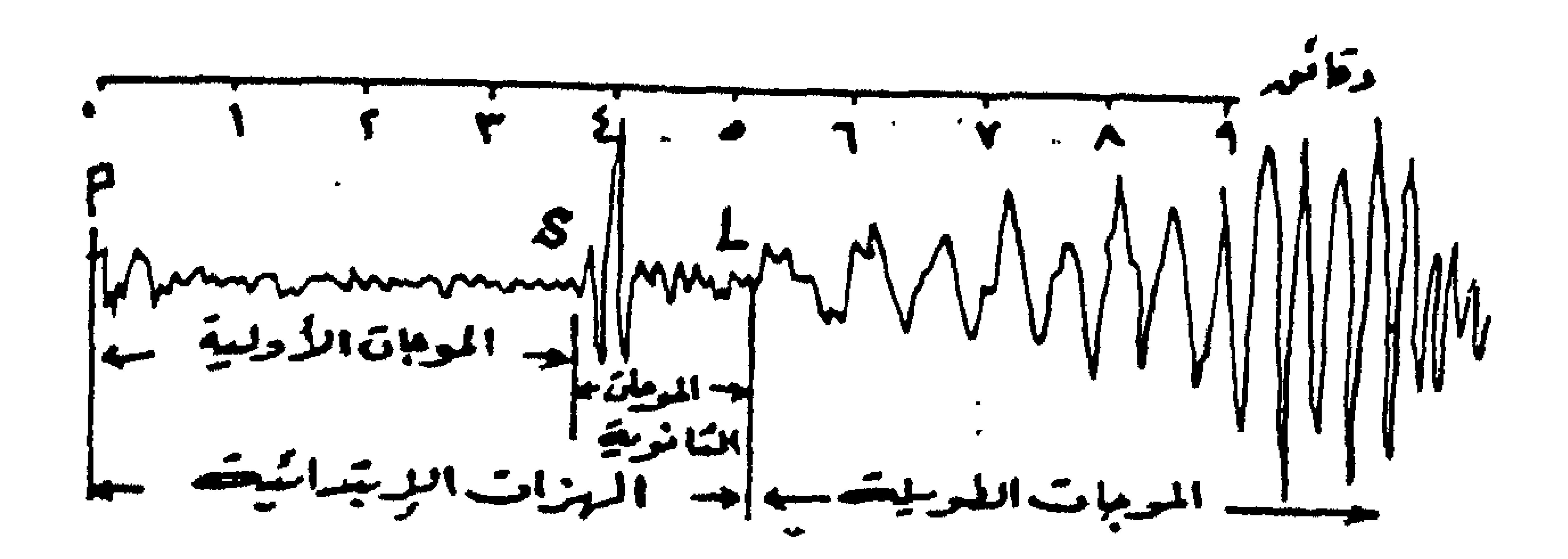
ومن بين أمواج التسونامى المدمرة الشهيرة التى سجلها التاريخ وأحدثت خسائر فادحة تلك الأمواج التى أصابت سواحل البرتغال فى عام ١٧٥٥ ، وسواحل اليابان فى عامى ١٧٠٣ و ١٨٩٦ ، وسواحل بيرو فى عام ١٨٦٨ ، والأمواج التى أصابت ساحل المملكة المغربية من ليلة ٢٩ فبراير إلى يوم ١ مارس ١٩٦٠ واكتسحت كل ما وجدته فى طريقها . وحينما حدث الزلزال فى خليج « ساجامى » Sagami باليابان الذى نشأ عنه ارتفاع جزء من قاع الخليج بمقدار ٢٣٠ مترا ، وانخفض جزء آخر بمعدل وصل إلى نحو ٤٠٠ متر ، بُعثت أمواج تسونامية بلغ ارتفاعها أكثر من عشرة أمتار ، وزحفت على اليابس مزمجرة مدمرة . وحينما حدث زلزال شيلى فى عام ١٩٦٠ أنشأ أمواجاً عظيمة قطعت عشرات الآلاف من الكيلومترات عبر المحيط الهادى واكتسحت جزر هاواى وجزر اليابان وجزر كوريل .

إستجابة الأرض للموجات الزلزالية

تمكن العلماء من معرفة الكثير عن طبيعة باطن الأرض عن طريق دراسة الموجات الزلزالية . وقد تبين أن الاهتزازات الزلزالية التى تخترق جرم الأرض وتسجلها الآلات الحساسة على أبعاد متفاوتة من مركز الزلزال تظهر اختلافات واضحة فى طبيعة المواد التى تتركب منها الطبقات الصخرية التى تخترقها .

ويمكن تلخيص أهم الحقائق التى أمكن جمعها من مختلف الدراسات فيما يلى :

١ - وجد أن الموجات الطويلة Long waves (شكل ١٢١) التى تتخذ لها مساراً حول الأرض خلال الصخور التى تقع مباشرة تحت سطح الأرض ، تسير فى قيعان البحار العميقة بسرعة أكبر من سرعتها خلال الكتل القارية . مثال ذلك أن الموجات الطويلة التى يحدثها زلزال فى كاليفورنيا تخترق قاع المحيط الهادى وتصل إلى اليابان ، كما تخترق اليابس الأمريكى وتسجلها مراصد نيويورك ، وقد وجد من دراسة تلك الموجات أن سرعتها وهى فى طريقها إلى اليابان أكبر من سرعتها وهى فى طريقها إلى نيويورك . ونستنتج من هذا أن صخور الجرانيت أو صخور السيال Sial (اختصار لفظى سيليكا وألومنيوم) التى تتركب منها الكتل القارية لا تدخل فى تركيب قيعان البحار العميقة . ويتفق هذا مع الشواهد الچيولوچية التى تشير إلى أن الصخور الداكنة كالبازلت أو صخور السيما Sima (اختصار لفظى سيليكا ومغنسيوم) تسود فى قيعان البحار العميقة .



شكل (١٢١) : تسجيل لهزات زلزال حدث فى أسيا الصغرى أجرى فى بولكوفو Pulkovo بالروسيا .

P = بداية الموجات الأولية .

S = بداية الموجات الثانوية .

L = بداية الموجات الطويلة .

وقد كان الفرق فى الزمن بين S.P هو ٣ دقائق و ٤٣ ثانية ، وهو يقابل مسافة مقدارها ٢٢٤٠ كيلو متراً بين محطة الرصد والمركز السطحى للزلزال .

٢ ـ وجد أن الموجات الأولية والثانوية Primary & Secondary تخترق الأرض بسرعة تتزايد بازدياد العمق إلى أن تصل إلى عمق يبلغ نحو ٢٩٠٠ كيلو متر .

وبناء على هذا نجد فى الشكل رقم (١٢٢) أن الموجات الأولية والثانوية التى تصل إلى محطتى التسجيل ١ و ٢ تسير بسرعة معدلها أكبر من الموجات التى تسجلها مراصد محطتى ٣ و ٤ .

ويرجع السبب الرئيسى فى ازدياد معدل سرعة الموجات كلما ازداد العمق إلى ازدياد قوة الجاذبية التى تعمل على شدة توتر المواد الصخرية ، وبالتالى إلى ازدياد مرونتها . وتنتقل الموجات الثانوية طليقة فى تلك المواد المرنة ، ومثل تلك الموجات لا تخترق السوائل العادية .

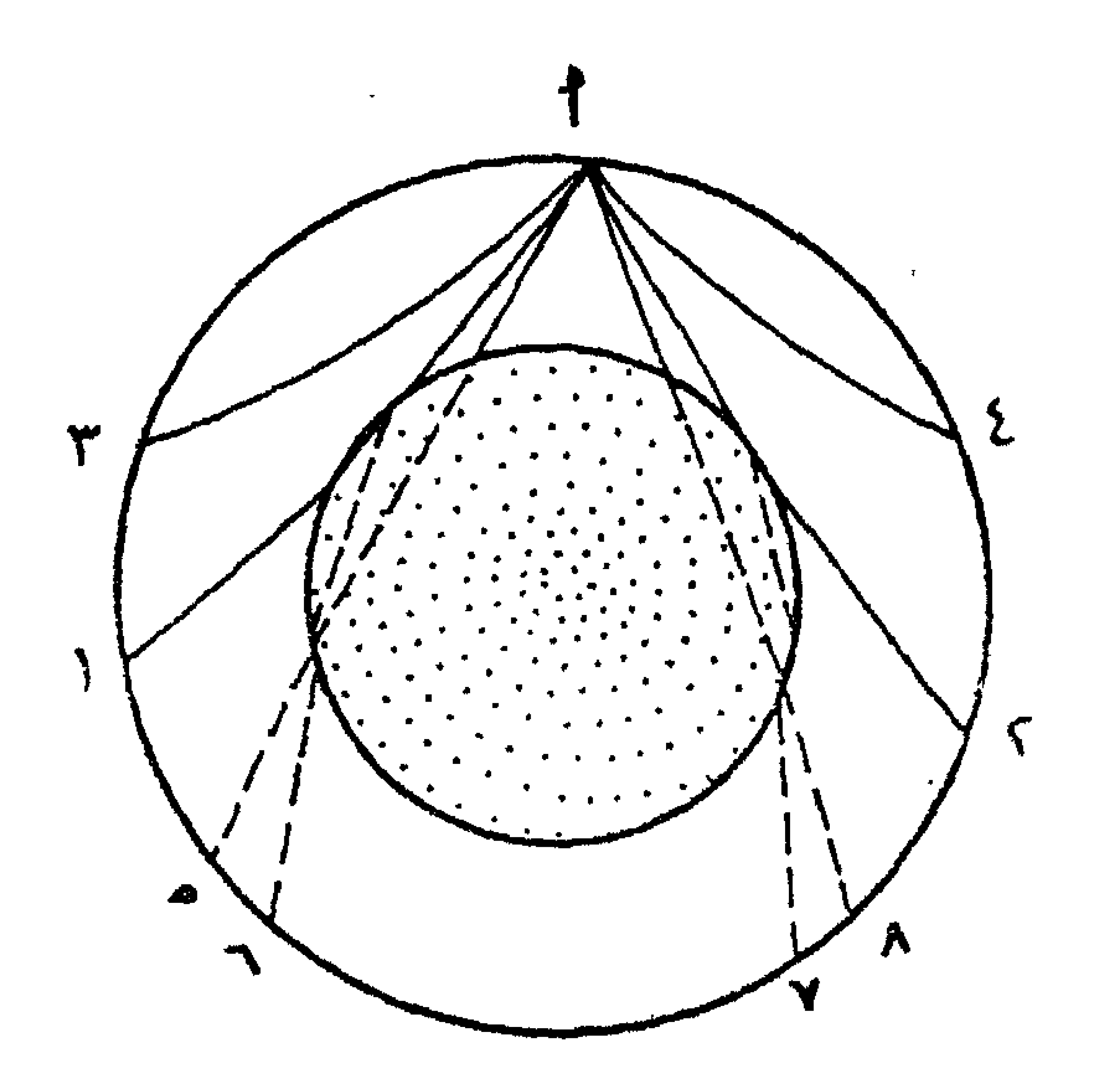
٣ ـ وقد تبين من الدراسات أنه عند عمق نحو ٢٩٠٠ كيلو متر يتغير سلوك تلك الموجات فجأة ، إذ يتناقص معدل سرعة الموجات الأولية

من حوالى ١٢ كيلو متر فى الثانية إلى نحو ٨ كيلو متر فى الثانية ، وتضعف سرعة الموجات الثانوية ضعفاً شديداً أو قد تضمحل تماماً . وعلاوة على ذلك وجد أن الموجات الأولية التى تخترق أعماقاً تزيد على ٢٩٠٠ كم تنكسر ، كما يحدث عندما تنكسر أشعة الضوء التى تمر من الجو وتخترق المياه (شكل ١٤٢) .

وقد اتضح من ذلك أن للأرض نواة يبلغ قطرها نحو ٦٨٠٠ كيلو متر، وأن طبيعة وتركيب هذه النواة يختلفان عن طبيعة وتركيب الغلاف الخارجى الذى يحيط بها .

٤ ـ هناك أيضاً من الشواهد ما يدل على أن الغلاف الخارجى ينقسم إلى قسمين رئيسيين ، فقد وجد أنه على الرغم من استمرار ازدياد سرعة الموجات إلى عمق ٢٩٠٠ كم ، يحدث انخفاض فجائى فى معدل ازدياد السرعة ابتداء من عمق نحو ١٠٠٠ كم ، ولهذا يحتمل أن المواد التى توجد أسفل عمق ١٠٠٠ كم تختلف فى نوعها وطبيعتها عن المواد التى توجد فوق ذلك العمق .

٥ ـ وقد أمكن التعرف على طبيعة الأجزاء العميقة من الأرض كالنواة والقسم السفلى من الغلاف الخارجى (أسفل ١٠٠٠ كم) بواسطة الهزات الزلزالية التى سجلت من مسافات بعيدة . أما الهزات الزلزالية التى تسجلها مراصد قريبة لا تبعد عن مركز الزلزال بأكثر من بضع مئات من الكيلومترا (تسمى بالزلازل القريبة Near Earthquakes) فإنها تعطينا معلومات قيمة عن طبيعة النطاقات الضحلة من الأرض ، إذ تسجل المراصد القريبة من مركز الزلزال موجات أولية وثانوية عادية تخترق قشرة الأرض كما تسجل موجات أخرى أولية انكسرت فى طبقة تقع أسفل القشرة وبالتالى أكبر منها كثافة . وقد تبين من هذا أن الصخور التى نعرفها على سطح الأرض تحتل فى الواقع قشرة رقيقة نوعاً ترتكز



شكل (١٢٢) : قطاع فى الأرض يوضح مسالك الموجات الزلزالية التى نشأت عند المركز ١ . المحطات الواقعة بين أ و ١ وبين أ و ٢ تستقبل تسجيلاً كاملاً للموجات . وتستقبل المحطات الأخرى بعد محطتى ١ و ٢ (كمحطات ٥ و ٦ و ٧ و ٨) الموجات الثانوية ضعيفة ، كما أن الموجات الأولية تنكسر فى أثناء طريقها إلى تلك المحطات كما يبدو فى الرسم ، ولهذا فإن نطاقاً بين محطتى ٢ و ٨ ونطاقاً آخر بين محطتى ١ و ٥ لا يستقبلان الموجات الأولية ، أما الموجات التى تتحرك حول سطح الكرة الأرضية فإنها تصل إلى جميع المحطات . وقد اهملنا رسم الموجات المنعكسة حتى يبقى الرسم مبسطاً واضحاً .

على طبقة من الصخور أكثر منها كثافة وثقلاً . ويستخدم الفنيون فى الدراسات الزلزالية آلات حساسة لمعرفة الاختلاف والتباين فى طبيعة ونوع صخور القشرة السطحية ، إذ يجرون انفجارات اصطناعية تولد موجات تنعكس أو تنكسر أثناء مرورها من نوع معين من الصخور إلى نوع آخر . وعن طريق دراسة التسجيلات المختلفة لمثل تلك الموجات الزلزالية الاصطناعية فى مختلف المحطات التى تُختار على أبعاد فى مواقع معينة ، يمكن حساب وتعيين مواقع الإلتواءات والكسور والعيوب التى توجد تحت سطح الأرض ، كما يمكن التعرف على الطبقات الحاملة لبعض المواد والمعادن المفيدة للإنسان كالبترول والغاز الطبيعى والملح الصخرى ...

الكوارث الزلزالية
على مستوى العالم ، وفى الوطن العربى

سبق أن شرحنا مفاهيم النظرية الجديدة ، التى انتشرت وشاعت ، وثبتت دعائمها ، وهى نظرية « الكتل الأرضية المتحركة » أو « تكتونيات الألواح الصلبة ، وانتشار وتمدّد القيعان المحيطة » Plate Tectonics & Ocean - Floor Spreading ، ومن الممكن تطبيق مفاهيم هذه النظرية على منطقة العالم العربى ، والأقطار المجاورة له ، والتى ترتبط به تكتونيا بنجاح ، ذلك لأن نطاقات الاضطراب والحركة ، وحدوث الزلازل والبراكين يرتبط بتحركات وزحزحة الألواح التكونية ارتباط وثيقاً .

تتألف قشرة الأرض من ستة ألواح كبرى Rigid Plates ، تتحرك كوحدات متماسكة ، وتُشكّلُ الحافات (السلاسل الجبلية) المحيطية الوسطى (حافات أواسط المحيطات Mid Ocean ridges) الحدود التى تفصل بين تلك الألواح ، وعلى امتداد تلك الحدود التى تشغلها الحافات تكثر الاضطرابات الأرضية والهزات الزلزالية والنشاط البركانى ، بل وتكوين الأخاديد ، وظهور الجبال . ومن تلك الحدود تتحرك وتتمدّد وتنتشر Spreading الكتل أو الألواح الصلبة فى اتجاه الخنادق المحيطية حيث تغوص فى صهير الأسثينو سفير (المستوى العلوى من الوشاح) وتُستهلك ، أو فى اتجاه نطاقات الحركة فتتكون السلاسل الإلتوائية . ويصاحبها دائما الزلزلة والبركنة .

وعدا الألواح التكتونية الكبرى ، هناك العديد من الألواح الصغيرة الإقليمية ، ومنها فى الوطن العربى وما يحيط به من أقطار ما يلى :

(١) اللوح العربى (كتلة شبه جزيرة العرب) (٢) اللوح الإيرانى

المواجه للوح العربى (٣) اللوح الأفريقى الشمالى الشرقى أو اللوح النوبى (٤) اللوح التركى فى مواجهة اللوح النوبى (٥) اللوح الأفريقى الشمالى والشمالى الغربى (٦) اللوح الأوروبى الجنوبى (أنظر الأشكال ١٠٨ ـ ١٠٩) .

وحينما نقوم بتوزيع الزلازل والبراكين فى العالم العربى ، سنجد أنها تنحصر فى أحزمة ضيّقة نسبياً ، تحيط بنطاقات واسعة ، تخلو أو تكاد تخلو من الاضطرابات الأرضيـــة . ويعنى هذا فى ضـــوء نظرية «تكتونيات الألواح» ، أن أراضى العالم العربى ، تتكون من كتل أو ألواح قارية صلبة ، تحيط بها أحزمة هامشية ضيقة ، تنحصر فيها الاضطرابات الأرضية والزلازل والبراكين .

وقد علمنا أن المناطق القارية تتكون من صخور خفيفة قليلة الكثافة، تطفو فوق طبقة من مواد ثقيلة مرتفعة الكثافة ، وتتميز بالليونة بسبب ارتفاع حرارتها الناتجة من ارتفاع الضغط ومن الطاقة الحرارية تيارات حمل ، تشتد وتتعاظم وتقوى على حمل ونقل الألواح الخفيفة التى تُشكّل الكتل القارية ، ويمكن تشبيه ذلك ، بحركة الطافيات الجليدية التى تدفعها التيارات البحرية فى مياه البحر الأكثر منها كثافة .

وتنشأ عن ذلك ثلاث عمليات تُسبب اضطرابات أرضية تنجم عنها كوارث الزلزلة والبركنة ، أمكن تتبعها والتعرف عليها فى كل أقطار الوطن العربى ، مع اختلافات فى التوزيع ، وتباين فى الشدة والكثافة ، وتلك هى الظواهر الثلاث :

(١) تسبب عملية انبثاق المواد المنصهرة بواسطة تيارات الحمل من الأعماق فى تحطيم الألواح القارية وتصدعها ، فيحدث للقشرة تمدد وانتشار ، وتحدث الزلازل المفاجئة ، والبراكين الثائرة . وقد حدث ذلك ويحدث فى نطاق البحر الأحمر وخليج عدن ، وفى نطاق هامش اللوح

الإيرانى قبالة اللوح العربى .

(٢) وتسبب عملية تكتونية ثانية اصطدام وانضغاط لوح تكتونى بآخر ، مما يؤدى إلى دفع أحدهما تحت الآخر ، فتتآكل أطرافه وتُستهلك ، ومن ثم يُقتضبُ قسم منه ، وحينما انفصل اللوح العربى ، وهو لوح رئيسى كبير ممثلا فى شبه جزيرة العرب ، واصل تحركه صوب الشمال الشرقى مصطدما بشدة باللوح الإيرانى ، وضاغطا لما بينهما من رواسب ، ورافعا لها ، فتكونت بذلك السلاسل الرئيسية لجبال زاجروس الإيرانية وجبال سلطنة عمان . وما تزال هذه الحركة مستمرة ، وتتسبب فى حدوث زلازل ، غاية فى الشدة فى بعض الأحيان .

ويُعتقد أن هذه الحركة هى المسئولة عن حدوث الانكسار الذى يقع فيه وادى الأردن ، وهى المسئولة أيضا عن حركة الألواح التى تتألف منها آسيا الصغرى (تركيا الآسيوية) وبحر إيجه ، حيث تحدث عمليات استجابة وأقلمة وترييح للضغوط ، يترتب عليها كثرة تعرضها للكوارث الزلزالية .

وبالمثل يتحرك اللوح الأفريقى تجاه اللوح الأوروبى ضاغطا للرواسب ورافعا لها ، مكوناً لسلاسل جبال أطلس فى المغرب العربى ، وتظهر معالم الحدود بينهما برفع حافة أَزُورِسْ - جبل طارق . وعلى امتداد جبال أطلس (التل ، البحرية ، العظمى ، الصحراوية) وما بينها من هضاب ، تكثر الزلازل ، وتشتد كوارثها .

(٣) قد يتحرك لوحان جانبياً قبالة بعضهما ، فينشئان انكسارات تحويليّة ، أو انكسارات مَضْرب ، كما هى الحال فى منطقة أخدود العقبة - وادى الأردن ، وكما هى حال الألواح الصغيرة Micro - Plates التى ينقسم إليها كل من اللوح الإيرانى ، واللوح التركى الآسيوى .

التباين الإقليمى للبنية الچيولوچية فى الوطن العربى وكوارثها الطبيعية

مما سبق يتضح أن العالم العربى يتكون چيولوچيا من نطاقين تركيبيين رئيسيين هما :

(١) نطاق يشغل الغالبية العظمى من أرضه ، ويتكون من ألواح قارية ، تكتنفها البنيات الإنكسارية ، التى نتجت إما عن التمدد والانتشار Spreading ثم التصدع ، كما فى نطاق البحر الأحمر ، أو عن عيب تحويلى (انكسار المضرب) كما هى الحال فى نطاق أخدود العقبة - وادى الأردن . وفى كلا النطاقين تكثر الهزات الزلزالية .

(٢) ويتمثل النطاق الثانى فى هوامش الألواح القارية المتحركة ، حيثما تلاقت وتصادمت . وهنا تتضح ظاهرة استهلاك Consumption أطراف الألواح المتصادمة ، وانضغاط الألواح المتصادمة ، وانضغاط الرواسب فيما بينها ، ورفعها إلى أعلى ، وظهور الجبال (برقة - الجبل الأخضر فى ليبيا ، الجبل الطرابلسى الغربى ، سلاسل جبال أطلس) وكلها تعانى من الزلازل .

(انظر الأشكال ١٠٨، ١٠٩، ١١٠، ١١١، ١١٢، ١١٣، ١١٤، ١١٥، ١١٦، ١١٧)

أمثلة لكوارث الزلازل
مع ربطها بنطاقات الحركة والاضطرابات
فى قشرة الأرض

فى أمريكا الشمالية :

لقد أمكن تتبع نطاق انكسارى يمتد بلا انقطاع من الجنوب نحو الشمال الغربى مسافة تُقدّرُ بنحو ٩٦٠ كم ، وهو النطاق الانكسارى الذى يُعرف بانكسار سان أندرياس San - Andreas ويمر بمدينة « سان فرنسسكو » . وفى ١٨ ابريل من عام ١٩٠٦ حدثت حركة فجائية فى



شكل (١٢٣) : انكسار سان اندرياس وانكسارات أخرى نشطة فى منطقة سان فرنسسكو بولاية كاليفورنيا

مجال هذا النطاق الانكسارى على طول مسافة قدرت بنحو ٤٣٠ كيلو متراً ، وسببت زلزالاً عنيفاً أحدث خسائر فادحة . والواقع أن حدوث الزلازل على طول مسافة شاسعة كهذه يعتبر ظاهرة نادرة ، والأغلب الأعم أن يتناول تأثير الزلازل مسافات تتراوح بين ٤٠ ـ ٨٠ كيلومتراً . وقد ذهب ضحية الزلزال نحو ربع مليون شخص ، وتمّ تدمير مدينة سان فرانسسكو .

وقد أجريت دراسات تفصيلية دقيقة فى منطقة انكسار « سان أندرياس » عقب حدوث زلزال عام ١٩٠٦ لمعرفة طبيعة ومقدار انتقال وتغيير موضع الطبقات ، تبين منها أنه لم ينشأ عن الحركة حدوث حافات انكسارية ، وذلك لأن الحركة كانت أفقية ؛ وقد ظهر ذلك واضحاً من تزحزح الطرق وأسوار المزارع والحدائق من مواضعها الأصلية إلى مواقع أخرى على طول خط الانكسار ، وقد قيست مقادير التزحزح فوجد أن أكبرها قد بلغ ٦,٥ متر . وعلى الرغم من الجهود التى بذلت فى دراسة النطاق ، ومحاولات الوصول إلى نتائج تفيد فى توقع حدوث الزلازل ، فإن الكارثة تكررت فى عامى ١٩٨٩ ، ١٩٩٤ ، لكن أمكن تفادى الخسائر فى الأرواح التى لم تتعدّ المائة لكن الخسائر المادية كانت جسيمة أيضاً .

وقد حدثت حركة مشابهة فى وادى إمبيريال Imperial Valley فى كاليفورنيا فى عام ١٩٤٠ ولكنها كانت أقل شأناً . وقد كان قسم من هذه الحركة رأسى فأحدث حافة انكسارية .

وفى عام ١٨٩٦ حدث زلزال كبير فى منطقة خليج « ياكوتات » Yakutat فى الاسكا Alaska نتيجة لحدوث حركة انكسارية رأسية أدت إلى هبوط أجزاء من الساحل ورفع جزء منه بمقدار ١,٥ متر تقريباً .

وينتشر حدوث الزلازل فى المناطق من قشرة الأرض التى أصابتها

حركة الالتواءات الألبية الحديثة وما تزال تعانى من تأثيراتها ، أى أنها فى مرحلة يستمر فيها تغير تركيبها الچيولوچى . ويزداد عنف الزّلازل فى مناطق الالتواءات القديمة التى تأثرت بحركات وقوى الضغوط الألبية نظراً لكثرة ما بتركيبها الچيولوچى من عيوب وانكسارات .

فى أمريكا الجنوبية :

وتمتد الجبال الألبية الحديثة ، التى تمثل نطاقات التصادم للألواح التكتونية بلا انقطاع من جزر « ألوشيان » عبر ألاسكا وجبال الروكى وسلاسل الهادى وما بينهما من هضاب ، عبر هضبة المكسيك وما يتاخمها من سلاسل جبلية ، إلى جبال وهضاب أمريكا الوسطى وأمريكا الجنوبية ، حيث سلاسل الأنديز وما تحصره بينها من هضاب حتى أقصى جنوبها . وعلى امتداد هذا النطاق العظيم ، تعظم الهزات الزلزالية هنا وهناك ، وتسبب الكوارث التى نسمع عنها ، ونقرأ عن فواجعها بين الحين والحين .

ولعل أشهر الزلازل المدمرة ما حدث فى أوائل شهر يونيو عام ١٩٩٠ حين ضرب زلزال مدينة يونجاى Yungai السياحية والمنطقة المحيطة بها فى بيرو ، وتسبّب فى وفاة «٥٣» ألف شخص . أما سكان «يونجاى» فقد هلكوا جميعا . وقد أحدثت الانهيارات الأرضية ، والتساقط الصخرى خسائر فادحة ، كما تسبّبت المياه التى تدفقت فى هيئة سيول من البحيرات الجبلية المجاورة فى اجتياح حوضى وادى هوايلاس Howaylas البالغ طوله ١٣٠ كم ، فاكتسحت وأزالت من الوجود عدداً كبيراً من القرى .

وتضرب الزلازل مناطق عديدة من دول أمريكا الوسطى (نيكاراجواى ١٩٧٢ - «ماناجوا» العاصمة) وبيرو (ليما - العاصمة

ومايجاورها من عمران ـ ميناء شيبوتى) وشيلى (سنتياجو ـ العاصمة والعمران من حولها) ، ولا تخلو أراضى دولة من دول أمريكا اللاتينية (المكسيك وأمريكا الوسطى والجنوبية) من حدوث كوارث زلزالية وفواجع بركانية ، ذلك أنها جميعا تقع على امتداد حدود ألواح تكتونية تتميز بالحركة الدائمة والاضطراب المستمر .

فى قارة آسيا :

تؤدى الطاقة التى تتجمع من تحركات الألواح التكتونية إلى منشأ العنيف من الزلازل ومثلها الزلزال الذى هزّ نطاق صحراء « جوبى » ومرتفعات ألطاى Altai فى عام ١٩٥٧ . وهو يُعتبر من أقوى الزلازل التى حدثت فى العصر التاريخى ثم الزلازل التى تحدث فى مرتفعات تيان شان Tien Shan و « بامير » Pamir وبعضها قوى عنيف كالزلزال الذى حدث فى عام ١٨٨٢ ، وفى عام ١٩١١ ، وقد كان مركز الأخير إلى الجنوب من بلدة « ألما ـ أتا » Alma-Ata وكان بالغ العنف والشدة ، وامتد تأثيره إلى مساحة قدرت بنحو مليون كيلومتر مربع . وقد انتشرت موجاته فى جميع أرجاء الكرة الأرضية ودارت حولها ثلاث مرات . وقد أحدث الكثير من الصدوع والشقوق التى ظهرت فى بعض المناطق ، وكأن الأرض قد شقها محراث عملاق

وتعتبر الهزات التى تحدثها الزلازل فى سفوح مرتفعات « بامير » و « **تيان شان** » متوسطة القوة ، فهى لا تحدث سوى صدوع فى جدران المنازل ، وقد تهدم المنازل الضعيفة البناء ، كما يحدث عادة فى مدينتى طشقند وسمرقند . وقد حدثت زلازل مدمرة أصابت مدينة أشغ أباد Ashkhabad فى عامى ١٩٢٩ و ١٩٣٨ ، وكانت مراكزها الداخلية Hypocentres على عمق يتراوح بين ١٥ ـ ٢٠ كم من قشرة الأرض . وقد

كان المركز الداخلى للزلزال المدمر الذى أصاب مدينة « أغادير » المغربية فى عام ١٩٦٠ على عمق يتراوح بين ٥ ـ ١٠ كيلومتر .

وقريبة إلى الأذهان كارثة الزلازل فى إيران التى محت من الوجود مناطق عمرانية بأكملها فى شمال شرقيها فقد اهتزت الأرض بعنف فى يومين (آخر أغسطس وأول سبتمبر) من عام ١٩٧٨ ، فهدمت مساكن القرى على رؤوس قاطنيها ، وبلغ عدد الضحايا زهاء ٥٠,٠٠٠ شخص . وقد فاقت هذه الكارثة الزلزالية ـ عنفاً وتدميراً ـ كارثة عام ١٩٦٢ ، حين قتلت الزلازل ما يقرب من ١٣,٠٠٠ نسمة . وقد أصاب الدمار الكامل عدة قرى بأكملها . ومنها قرية جوناباد التى وصفها الطيارون الذين شاهدوها من الجو ، بأنها بدت كما لو كانت قد ضربت بالقنابل الذرية . ويقال إن ضحايا الزلازل فى إيران أثناء ما انصرم من هذا القرن قد بلغ نحو مليون قتيل ، وتهز الزلازل أرض تركيا كثيراً ، ومنها ما حدث فى أواخر مارس ١٩٧٠ ، ودمر آلاف المنازل فى مدينة جديز والقرى المجاورة لها ، واستخرجت أكثر من ألف جثة من تحت الانقاض . وقد ضربتها الزلازل المدمرة ست مرات خلال عقد التسعينيات من هذا القرن العشرين .

وتعانى الأجزاء الشمالية من باكستان ، ومعظم أراضى أفغانستان من الزلازل المدمرة ، التى يذهب ضحيتها عشرات الألوف من الأنفس ، ويصيب التدمير مدنها وقراها .والخراب بسبب كوارث الزلازل، إضافة إلى كوارث البشر من جراء الحرب الأهلية منذ نحو عقد ونصف من الزمن.

وكوارث الزلازل فى اليابان مشهورة ، إذ يصيب الجزر نحو ١٥٠٠ هزة كل سنة ، فكأن سكان اليابان ، يتناولون وجبات الطعام الثلاث اليومية ، بمعدل الوجبة هزة أرضية .

والصين هى الأخرى تعانى من الزلازل بين الحين والآخر ، وأشهر

ما أصابها من هزات كان فى العشرينيات ، حين ضربت مقاطعة كانسو ، وقتل من جرائها نحو ثلث مليون شخص . .

وفى أواخر يوليو وأوائل أغسطس من عام (١٩٧٦) اجتاحت الزلازل المناطق الشمالية الشرقية من الصين ، وبلغ الضحايا عشرات الآلاف من القتلى ، وشهدت مدينة تانج شان (تقع شرقى بيكين بنحو ١٨٠ كم) ذات المليون نسمة دماراً كاملاً . كما أصيبت مدن أخرى ومنها العاصمة بأضرار جسيمة .

وتشبه اليابان فى كثرة حدوث الزلازل ، جزر الفيلبين ، وكوريل ، وإندونيسيا التى تتألف من ١٣٦٧٧ جزيرة ، منها ٦٠٤٤ جزيرة ماهولة بالسكان ، وتنتظم الجزر فى أرخبيل يمتد من الغرب إلى الشرق مسافة تبلغ ٦٠٠٠ كيلو متر ، ومن الشمال إلى الجنوب بين نصفى الكرة مسافة ٢١٠٠ كم . وهنا تحدث الزلازل وتكثر فى مساحة برّية وبحرية تُقدر بنحو ١٢ مليون كيلو متراً مربعا .

فى قارة أوروبا :

الأرض الأوروبية رحيمة بسكانها ، بالقياس للقارات الأخرى . ومع هذا فإن أراضها تهتز بين الحين والآخر ، خاصة فى نطاق المرتفعات الألبية الحديثة . حيث يتحرك اللوحان الأفريقى والأوروبى (الأوراسى) فى اتجاهين متقابلين ، ولذلك تعانى شبه جزيرة البلقان ، وبوجه خاص منها اليونان وجمهوريات يوغوسلافيا السابقة ، وإيطاليا ، وجنوب أيبيريا ، وجزر البحر المتوسط من الزلازل العنيفة . مثال ذلك الزلزال العنيف الذى أصاب جنوب إيطاليا فى أوائل هذا القرن العشرين ، والزلازل تصيب المناطق المجاورة لنابولى ، وجزيرة صقلية ، وجزيرة قبرص .

فى قارة أفريقيا :

نطاق الأخدود الشرقى الأفريقى : يرتبط حدوث الزلازل بهذا النطاق بوجود الإنكسار الأفريقى العظيم ، الذى أصاب قشرة الأرض فى أواخر الزمن الچيولوچى الثانى ، واستمر تكوينه أثناء الزمن الثالث ، وهناك أدلة وشواهد مقنعة أن نشاط الانكسار ما يزال مستمرا ، ذلك الانفصال والتباعد بين اللوحين الأفريقى (النوبى) والعربى دائب ، وأن اليوم سيأتى لفصل القرن الأفريقى عن شرقى القارة ليصبح جزيرة فى المحيط الهندى الغربى .

نطاق شمال القارة المتاخم للبحر المتوسط : وهو نطاق التوائى حديث ، يبلغ ذورته فى جبال أطلس بالمغرب العربى حيث تكثر الزلازل ، وأشهرها الزلزال الذى دمرّ مدينة أغادير بالمغرب عام ١٩٦٠ ، وكذلك الجبل الطرابلسى الليبى ، ومنطقة الجبل الأخضر ، حيث ضرب زلزال أهم أحواضه الزراعية ودمّر أكبر المدن فيه وهى مدينة المرج فى أواسط ستينيات هذا القرن العشرين .

كوارث الزلازل فى مصر

تاريخ الزلازل بمصر قديم مرصود فى كتب التراث ، وقد أحصى الجغرافى المحقق الدكتور عبد الله الغنيم وزير التربية والتعليم السابق بالكويت ، خمسين زلزالاً وردت فى تلك الكتب ، اعتبارا من عام ٧١٣ ميلادية وحتى نهاية القرن الماضى (القرن التاسع عشر) بواقع ٤ هزات زلزالية فى كل قرن على وجه التقريب . ويبدو من الوصف الذى ذكره الدكتور عبد الله فى مقاله بالأهرام (١٩٩٢/١١/٩) أن كثيرا من تلك الزلازل كان متوسط التدمير ، لكن الهلع الذى كان يصيب الناس من جرائها كان عاما .

وفى وصف لزلزال حدث فى ١٩ مارس ١٤٨١ م نوردُ ما يلى :

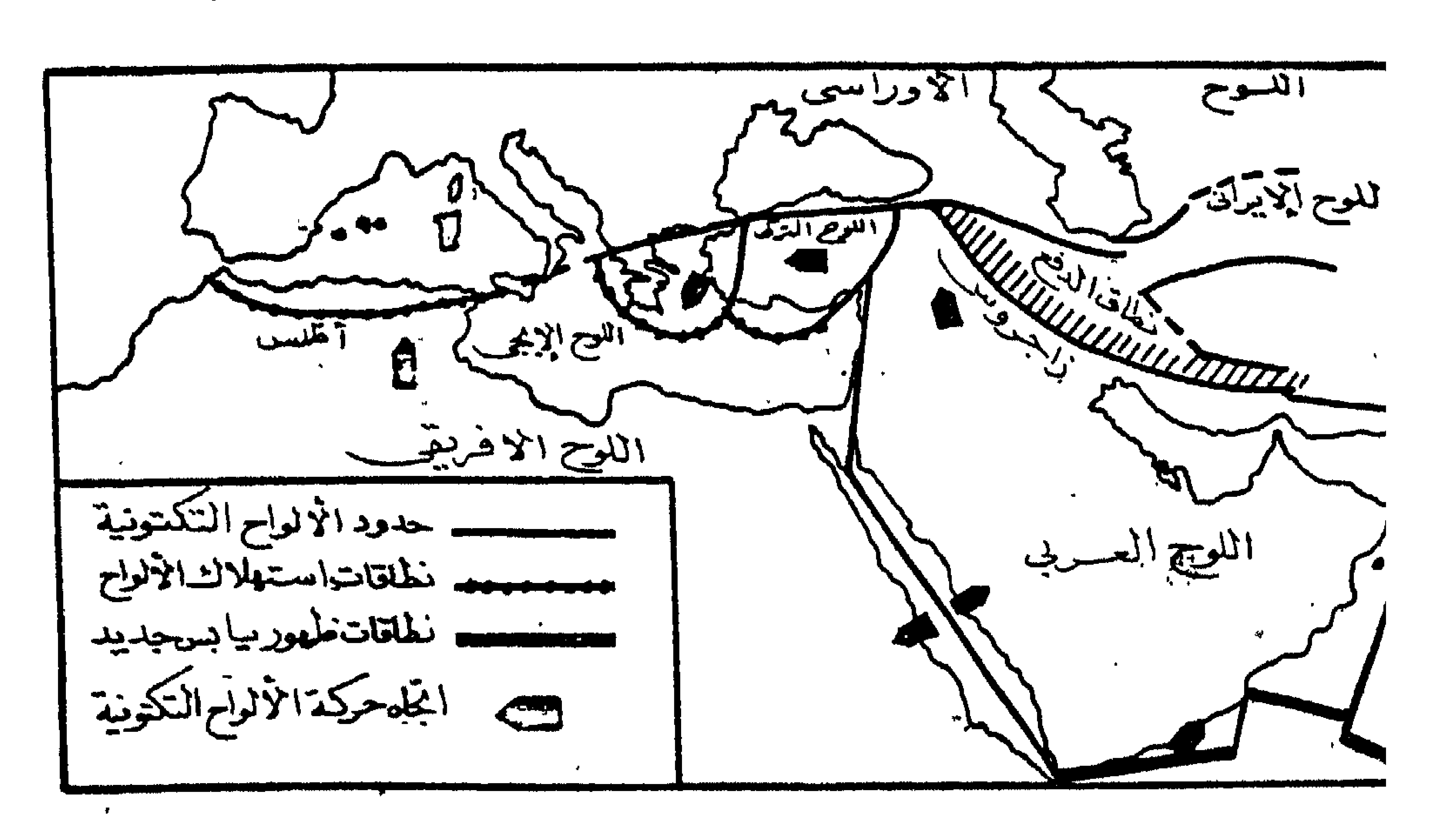
«كانت زلزلة مهولة بمصر والقاهرة ، ماجت منها الأرض ، وتحركَت المآذن ومالت ، وسُمع للأرض دويٌّ كدوى الرحى ، وكان ذلك بعد العصر ، فاستمرت نحو ثلاث درج وهى فى اضطراب ، حتى دُهش منها الناس ، وخرجت النساء من البيوت وهُنّ حاسرات عن وجوههن ، وحصل للناس غاية الرعب ، ومات من هذه الزلزلة قاضى القضاة .... فقد سقط عليه ساقط من أعلى الديوان ، فمات لوقته ، مات أيضا الزينى أبو بكر ابن القاضى ... مات مرجوفا من الزلزلة حين ماج به البيت » .

والقارئ للمقال يجد أن الرصد التاريخى للزلازل لم يكن مجرد وصف للأحداث ، بل كان يحاول تحديد قوتها ومدتها ، بل وعلامات بدايات حدوثها . من ذلك وصف لزلزال حدث فى أواخر القرن التاسع عشر (عام ١٣٠٤ هـ) « حدثت زلزلة بالقاهرة الساعة العاشرة إلا ثلاث دقائق صباحا ، توالت فيها الهزات دفعتين ... واستمرت كل هزة من ثانيتين إلى ثلاث ثوان ..... ولم نشاهد قبيل ذلك علامة تنذر بالزلزلة ، من مثل هجوع الريح ، واشتداد الحرارة عن المعتاد ، واغبرار الأفق ، ونحو ذلك ، وأخبرنا جماعة أنهم سمعوا دويا طالعا من الأرض كهزيم الرعد ، عند حدوث الزلزلة فى الجزيرة ... » .

وقد أثارت نكبة الزلزال الذى هزَّ أرض مصر فى يوم ١٢ أكتوبر من عام ١٩٩٢ كثيرا من الأقاويل والتساؤلات ، نظرا لأن الجيل الحالى لم يشهد مثله فى التدمير . ولعل ما سبق أن ذكرته من زلازل أحاقت بأرض مصر فى العهد الإسلامى ، بل وما أمكن الاستدلال عليها فى عصور أقدم، تشير إلى أن أرض مصر لم تدخل حديثا فيما يُسمى « حزام الزلازل » . فالحقيقة أن أرض مصر راسخه تقع فى منطقة مستقرة نسبيا ، وأن الزلازل تنتابها على فترات طويلة ، بمعدل أربع مرات فى كل قرن من الزمان ، وغالبها من نوع الزلازل « الخفيفة » أو « اللطيفة » على حدّ تعبير كتب التراث ، بل إن بعضها كان يوصف بعبارة : « وقعت زلزلة لطيفة جدا بالقاهرة » فى ٢٨ فبراير ١٥٣٧ ميلادية .

فزلزال أكتوبر ١٩٩٢ لم يكن أول الزلازل ، ولا هو آخرها . ففي نوفمبر ١٩٩٥ حدث زلزال مركزه خليج العقبة وكانت قوته مثل قوة زلزال ١٩٩٢ (٦ بمقياس ريختر) وكانت هزاته محسوسة في القاهرة والإسكندرية ، ولبعد مركز الزلزال عن القاهرة والإسكندرية ، فلم تحدث أضرار جسيمة كما حدث في عام ١٩٩٢ ، وفي مساء الخميس ٢٨ مايو ١٩٩٨ اهتزت أرض مصر في حوالي الساعة التاسعة والنصف مساء ، وكانت قوة الزلزال ٦,٢ بمقياس ريختر ، وكانت الهزات محسوسة جدا في القاهرة والإسكندرية ، لكنها لم تحدث أضرارا تُذكر ، لأن مركز الزلزال كان بعيدا في جزيرة قبرص .

(راجع الأشكال ١٠٨ ، ١٠٩ ، ١١٠ ، ١١١ ، ١١٢ ، ١١٣ ، ١١٤ ، ١١٥ ، ١١٦)



شكل (١٢٤) : الوحدات البنيوية في العالم العربي

والغريب أن القرن العشرين قد حدثت به في مصر أربع عشرة هزة محسوسة ، لكنها لم تكن من القدرة بحيث تثير الجدل والرعب الذى أثارته هزات ١٩٩٢ . وينبغى أن نعلم أن أرض مصر تقع فى اللوح التكتونى الأفريقى الراسخ ، وحدوده التى تكثر على امتدادها الزلازل وتشتد ، تقع بعيدة نسبيا عن أرض مصر . فالحدود بينه وبين اللوح الأوراسى (الآسيوى - الأوروبى) كما نراها على الخريطة (شكل ١٠٥) تقطع سلاسل جبال أطلس ، وتمرّ بشمال البحر المتوسط ، عبر إيطاليا والبلقان وقبرص وتركيا صوب الألواح التكتونية الإيرانية ، وعلى امتداد الحدود تحدث الزلازل ، فإذا ما اشتد ساعدها وكانت عنيفة أصاب أذاها المعمور المصرى ، مثلما حدث فى ٩ أغسطس عام ١٣٠٣ (٢٣ ذى الحجة ٧٠٢ هـ) حين حدث زلزال عنيف « زلزلت الأرض زلزالا شديداً ، لم يُعهد بمصر مثله من قبل ، ثم امتد فى جميع البلاد بالشام ومصر ، وأقامت تهتز تقدير ربع ساعة فلكية ، وكان لها دوى كدوى الرعد .... واستمرت الزلزلة خمس درج ، إلاّ أن الأرض أقامت عشرين يوما ترجف ، وهلك تحت الردم خلائق لا تُحصى ..... » . وأثناء هذا الزلزال سقط فنار الإسكندرية ، كما تهدمت عمائر الأزهر الشريف ، وجامع عمرو بن العاص، والجامع الحاكمى ، وجامع الصالح ... ، وقد أعاد حكام مصر ترميمها جميعا .

ويُعزى الزلزال الشديد الذى حدث عام ١٩٥٥ إلى هزات أرضية فى مجال الحدود بين اللوحين فى منطقة قبرص واليونان .

وهناك مصدر آخر للزلازل التى تصيب مصر ، يأتى عن طريق الانكسارات القديمة ، التى قد تنشط أحيانا ، وأهمها ، كما سبق أن ذكرنا ، أخدود البحر الأحمر وخليج العقبة ، وكان أحدث نشاط لهذه الانكسارات القديمة فى عام ١٩٦٩ ، ثم فى نوفمبر ١٩٩٥ (مركزه خليج العقبة) . وهناك انكسارات قديمة فى وادى النيل ، نشط أحدها فى عام ١٩٨١ ، فأثر فى منطقة السدّ العالى ، وهو الإنكسار الذى يقع إلى الجنوب من السدّ

[illegible] تقريباً . ويؤكد الجيولوجي الدكتور / رشدي سعيد أن السدّ العالي بعيد عن الانكسارات ، وهو قد شُيّد على أرض ثابتة ، واختير موضعه بعناية فائقة ، وبناؤه مصمم لتحمل الصدمات ، فجسمه من الركام القابل لامتصاص الزلازل . ومنا يقال من أن جرم السدّ قد أحدث خللا في توازن قشرة الأرض في موقعه ومحيطه نتيجة لكمية المياه الهائلة التى تجمعت أمام السدّ (بحيرة السدّ ـ بحيرة ناصر) قول مردود ، ولا يستند على أيه شواهد علمية . ذلك أن موضوع إمكانية تأثر جسم السدّ بهزات أرضية قد حظى بدراسات علمية مكثفة قبل اختيار موضعه وقبل بنائه ، وقد تمت استشارة خبراء السدود من جميع دول العالم ، وعقدت ندوات عالمية علمية ، كانت نتائجها فى صالح بناء السدّ فى ذلك الموضع وأن السدّ وما يحجزه من مياه لن يكون له أى تأثير على توازن قشرة الأرض فى محيطه .

والسبب فى حدوث زلزال ١٩٩٢ يرجع إلى تجدد نشاط انكسار قديم ، يمتدُّ من شمال الفيوم شرقا حتى يصل إلى صدع البحر الأحمر ، وهو إنكسار قديم سبق أن جدّد نشاطه فى عام ١٨٤٧ م ، فى أواخر ولاية محمد على ، وفى عام ١٨٩٦ م .

والغريب أن بعضاً من الزلازل المذكورة آنفا كان أقوى بكثير من زلزال ١٩٩٢ ، لكن الخسائر سواء فى الأرواح أو المبانى لم تكن بهذا القدر الذى حدث فى عام ١٩٩٢ . والسبب ظاهر فى التكدس السكانى ، وفى انعدام صيانه المبانى القديمة ، وسوء بناء العمارات الجديدة ، ولهذا كانت أضرار الزلزال جسيمة . فزلزال ١٩٩٢ قد كشف الأخطاء والإهمال فى تصميم وإنشاء واستخدام المبانى والمنشئات ، حيث ظهرت التشققات والتصدعات والخلل ، وكلها نتائج التسيب واللامبالاة .

التوقع ، التنبؤ ، بحدوث الزلازل

إن توقُّع أو التنبؤ بالزلزال قبل وقوعه أمر ما يزال يستعصى على المختصين من العلماء والباحثين . هناك أبحاث كثيرة فى مختلف دول العالم المتقدم التى تُصاب بكوارث الزلازل بين الحين والآخر ، وأخصها دول شرق وجنوب شرق آسيا ، ومنها اليابان والصين وإندونيسيا ، ثم دول جنوب أوروبا ، ومنها إيطاليا واليونان ، ثم الولايات المتحدة الأمريكية. ولكن تلك الأبحاث لم تصل إلى أية نتائج محققة حتى الآن .

ولقد نُشرت أخبار عن إمكانية استخدام المرئيات الفضائية فى التعرف عن مكنون قشرة الأرض ، ورصد التغيرات التى تحدث فى الشروخ والكسور والفواصل تحت السطح ، وبذلك فإنها يمكن أن تُسهم فى التعرف على بدايات حدوث هزات أرضية . ولقد ثبت أن هذا الاتجاه غير مُجدى ، ولا طائل من ورائه .

ولقد شرع بعض البحاث فى استخدام الصور الفضائية ، لاستنباط وقراءة الذبذبات التى تحدث فى مناسيب مياه البحار والمحيطات ، والتى تقوم برصدها الأقمار الصناعية ، فهم يرون أن ارتفاع منسوب المياه المفاجئ يُنذر باقتراب حدوث زلزال . ومن الواضح أن حركة المياه فى البحر ، وصلة اليابس بالماء ، تتحكم فيها قوى متباينة أهمها : ضغط الغلاف الجوى وتسيير الرياح ، ودفعها للمياه ، وحركة المدّ والجزر ، التى تتفاوت تفاوتا كبيراً سواء فى سلوكها أو مداها ، ثم التيارات البحرية العالمية ، وتيارات الدفع على امتداد الشواطئ ، وكلها أمور لا تُعطى أية فرصة للفصل بين هذه العوامل المؤثرة فى حركة المياه ، وبين عامل الزلزلة قبل وقوعها .

والذى يمكن أن نوصى به فى مجال تفادى أكبر قدر من الخسائر الناشئة عن حدوث زلزال ، أن نُثابر فى دراسة الزلازل ، وأن نُعطى البعد

الزمنى قدراً كبيرا من الإهتمام ، ففى أحداث الماضى عبرة للحاضر ، وبناء للمستقبل ، فيلزم مسح التراث ، واستخراج ما ورد فيه عن أحداث الزلازل فى أرض مصر ، للإفادة من ذلك فى تكوين أفكار تخص طبيعة الزلازل ، ومراكزها ، وتكرار حدوثها ، والأضرار التى نتجت عنها ، وحتى نكون على علم بدرجات قوتها ، وسلوك المسئولين حيال كوارثها .

هذا ويَجبُ الإهتمام بقيمة الأسلوب العلمى فى إمكانية « التنبؤ » . والإهتمام بمراكز دراسات المستقبل ، وإدارة الأزمات ، فمثل هذه المراكز تلعب دوراً مهماً فى إنارة الطريق أمام صناع القرار ، لكى يكون القرار مبنياً على أسس سليمة . ومعروف أن التخطيط لحرب الخليج الذى أجبر الجيش العراقى على التراجع، قد قامت به مراكز بحوث المستقبليات، وتمّت الإفادة منها حتى أثناء الحرب . وهنا ينبغى على أولى الأمر فى مصر إعطاء أولية لمراكز بحوث المستقبل ، وللمؤسسة الخاصة بأبحاث الزلازل ، بحيث تأخذ من ميزانية الأبحاث العلمية ما يساعدها على اقتناء أحدث الأجهزة والمعدات التى تخدم أغراض أبحاث الزلازل وإمكانيات توقعها والتحذير من أخطارها ، كما ينبغى تكثيف عمليات الرصد الدقيق لمناطق الصدوع والعيوب ، خاصة وأن معظمها معروف الموقع والموضع ، وبحاث الچيولوچيا وعلوم الطبيعة الأرضية فى مصر على درجة رفيعة ، بل وعالمية من المعرفة والعلم ببناء مصر الچيولوچى .

هذا وقد تخطى العالم عصر الثورة الصناعية الثالثة ، وهى ثورة المعلومات ، وعالمية الاتصال ، والحاسبات الإلكترنية ، كما دخل فى شهر أبريل من عام ١٩٩٢ عصر الثورة الرابعة ، وهو عصر البيئة والتنمية ، وذلك بانعقاد مؤتمر « قمة الأرض » فى « ريودى چانيرو » بالبرازيل . ولهذا لابد لنا أن نأخذ بأسباب العلم الحديث ، حتى نكتسب الخبرة والقدرة على مواجهة الأزمات غير المتوقعة ، ومنها كوارث الزلازل .

وينبغى أن نشير إلى أن أرض مصر صالحة لبناء العمائر التى تستطيع تحمل الهزات الزلزالية ، لكن يجب الإقلاع عن بناء الأبراج

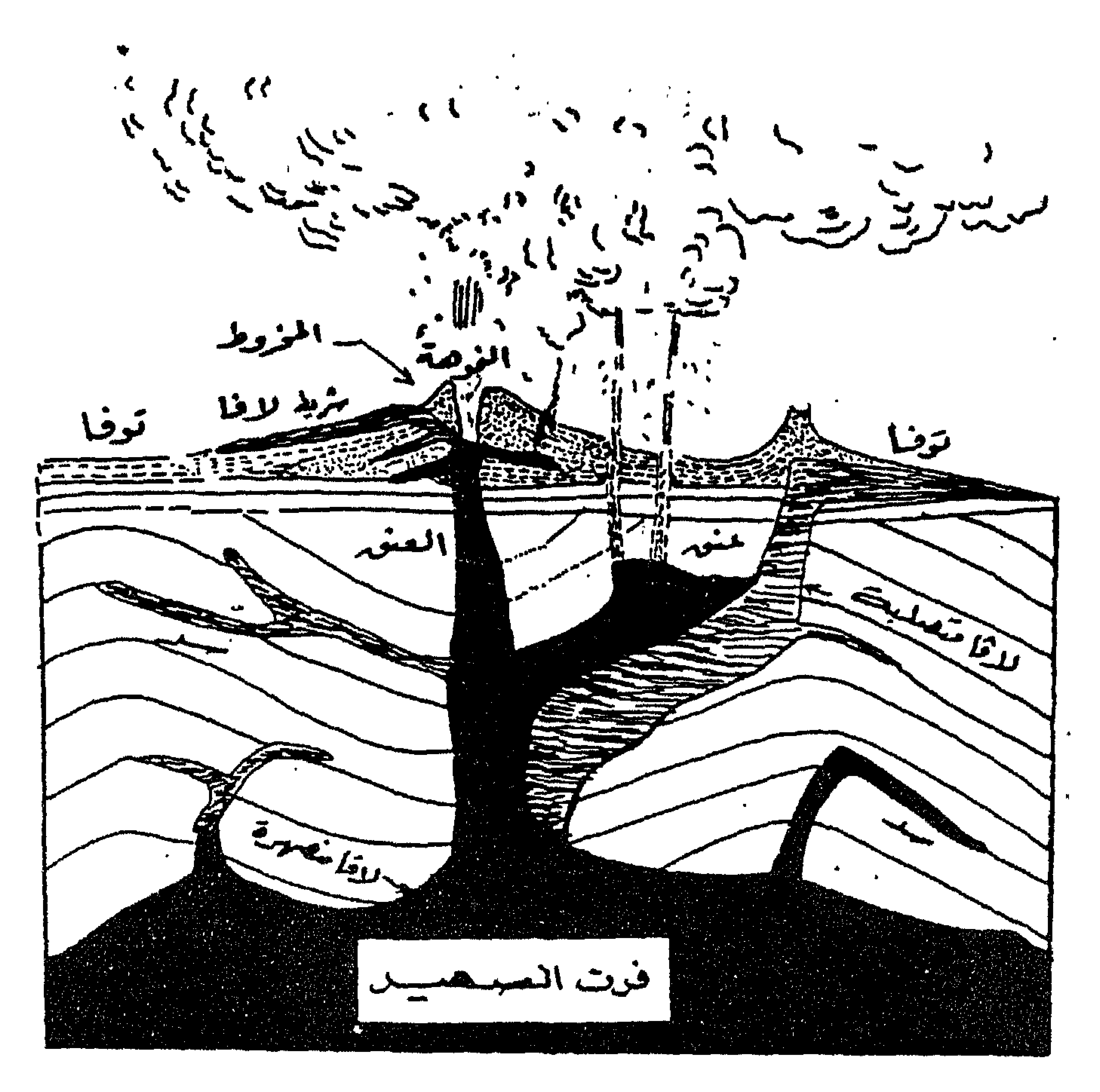
العالية، التى تأكد عدم ثبات معظمها للهزات الزلزالية ، إضافة إلى سوء بنائها ، وعدم الالتزام بالمواصفات القائمة ، وهى كافية لصمود العمارات لو أنها طُبِّقت بحذافيرها .

الفصل الثانى عشر
النشاط الناري الطفحي
البراكين وكوارثها

تعتبر الثورانات البركانية من أكبر الظاهرات المروعة والمفجعة فى الطبيعة . وفى معرض الحديث عن البراكين كثيراً ما يقال بتقسيمها إلى براكين نشطة ، وأخرى خامدة ، والواقع أن هذا التقسيم اصطلاحى محض فهناك من البراكين ما ثارت ونشطت بعد فترة سكون دامت عدة قرون ، نمت أثناءها الغابات على جوانبها وتحولت فوهاتها إلى بحيرات . ولهذا يمكن اعتبار البركان نشيطاً إذا استمر نشاطه أو أنه قد ثار مرة أو أكثر أثناء العصر التاريخي المعروف لدينا . أما البركان الخامد فهو الذى سكن وخمد قبل العصر التاريخى ، وبالتالى لم يذكر التاريخ شيئاً عن نشاطه . ويوجد فى العالم الآن نحو ٤٧٦ من البراكين النشطة . وأكثر من ٤٠٠٠ من البراكين الخامدة .

والبركان عبارة عن جبل مخروطى الشكل ، فى قمته تجويف يسمى فوهة Crater تنبثق منها على فترات غازات وكتل صخرية وقذائف وحمم ومواد منصهرة تعرف باللافا Lava . وتمتد من قاع الفوهة إلى أسفل قناة (مدخنة أو قصبة) تصل إلى فرن الصهير ، وتندفع خلالها المواد البركانية إلى الفوهة ، وتعرف بعنق البركان .. (شكل ١٢٥) .

وتتباين أحجام البراكين ، فمنها المخاريط الصغيرة ، ومنها الضخم الذى يناهز فى ارتفاعه أعلى القمم الجبلية فى العالم . ففى مرتفعات «الأنديز» تكون البراكين مخاريطاً من أعلى قممها ارتفاعاً ، بعضها ما يزال نشيطاً كبرهان « كوتوباكسى » Cotopaxi فى « إكوادور » وهو أعظم براكين العالم النشطة ارتفاعاً ، إذ يبلغ ارتفاعه أكثر من ٦٠٠٠ متر . وترتكز براكين « الأنديز » على كتلة قديمة مقطعة تعلوها البراكين



شكل (١٢٥) : قطاع فى بركان طباقى . يتضح فيه التركيب الطباقى الذى ينشأ عن تعاقب طبقات من اللافا وأخرى من تكوينات التوفا البركانية .

بارتفاعات تتراوح بين ٣٠٠٠ و ٣٧٠٠ متر .

وترتفع البراكين فوق قاع المحيط كما تبرز كتل اليابس . ومن البراكين المحيطية ما هو ضخم عظيم ينشأ فوق قاع المحيط ، ويظهر شامخاً فوق مستوى مياهه ، ومنها براكين جزر هاواى التى تركز قواعدها فى المحيط على عمق يتراوح بين ٤٢٠٠ م و ٥٤٠٠ م ، وترتفع فوق سطح مياه المحيط بنحو ٤٣٠٠ م ، وبذلك يصل ارتفاعها الكلى من قاع المحيط إلى قممها نحو ٩٠٠٠ م .

مراحل النشاط البركاني
تصنيف البراكين

تُصنف البراكين إلى أنواع حسب طبيعة النشاط البركانى ، وهذه الأنواع ما هى إلا مراحل معينة من الثوران تتميز كل مرحلة منها بنمط معلوم من المواد التى يغلب خروجها من البركان . والمواد التى ينفثها البركان أثناء ثوراته هى الغازات واللافا المنصهرة ثم الحطام الصخرى المتوهج . وتتوقف طبيعة أى نشاط بركانى إلى حد كبير على نسب كميات ما يخرجة من تلك المواد الثلاثة .

وتتميز بعض البراكين ـ ومنها بركان « فيزوف » ـ بدورات نشاط محددة ومعروفة . وتبدأ كل منها بمرحلة خروج غازات ، تليها مرحلة خروج اللافا التى تنتهى بانبثاقها من المنحدرات ، ثم مرحلة ثالثة تتمثل فى خروج المقذوفات الصخرية .

ومن الممكن أن تتباين مرحلة من مراحل النشاط فى كثافتها أثناء الثوران الواحد أو أثناء الثورانات المتتالية ، وهذه تقاس بمدى قوة الثوران أو بكمية المواد المنبثقة من البركان .

١ ـ نوع هاواى Hawaiian (**مرحلة خروج اللافا**) :

ويتمثل هذا النوع أو هذه المرحلة أصدق تمثيل فى براكين جزر هاواى . ويتميز بخروج اللافا القاعدية (البازلتية) المتحركة التى لا يصحبها انبثاق غازات أو مقذوفات صخرية . ودرجة حرارة اللافا تكون عظيمة الارتفاع لذا تكون فى حالة سائلة . وتتحرك اللافا التى تملأ الفوهات حركة دائبة ، وتغلى بهدوء وأحياناً تندفع إلى أعلى فى شكل نافورات ترتفع إلى عدة عشرات من الأمتار لبضع دقائق ثم تتلاشى . وحين تمتلئ الفوهات باللافا تطفح وتفيض من حوافها على جوانب البراكين . وتتوقف ضخامة سيل اللافا المتدفق على معينه فى باطن قشرة

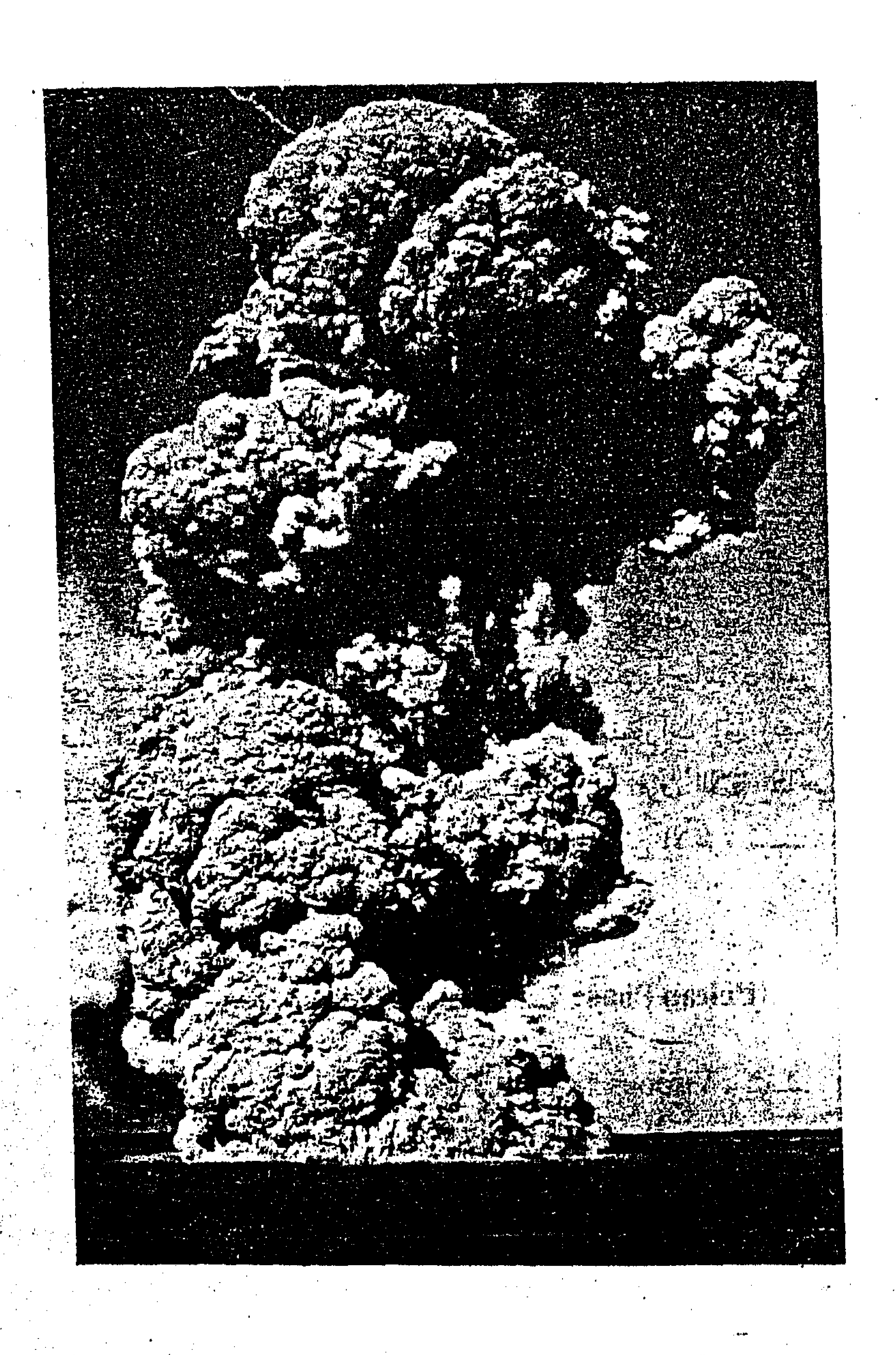
الأرض ، فأحياناً يكون فرن الصهير عظيماً فتتدفق اللافا فى سيل يمتد بضع عشرات من الكيلو مترات .

وجزيرة هاواى التى يتمثل فيها هذا النوع عبارة عن كتلة بازلتية ضخمة توجد بها خمسة براكين كبيرة منها اثنان نشيطان هما «مونالوا» Mauna Loa (يبلغ ارتفاعه نحو ٤١٠٠ متر) وكيلويا Kilauea (ارتفاعه حوالى ٤٢٠٠ م) .

ويعتبر بركان « مونالوا » من أعظم براكين العالم الحالية اتساعاً ونشاطاً . وتخرج اللافا منه على هيئة أعمدة ضخمة رائعة ، تتكون من مادة ملتهبة سائلة ، تبدو أحياناً فى شكل نافورات نارية متوهجة ترتفع إلى بضع عشرات من الأمتار . وحينما يستمر خروج اللافا فى شكل نافورات متتالية متجاورة على طول فالق الانبثاق ، فإنها تبدو حينئذ فى هيئة جدار هائل من النار المتوهجة ، وتنبثق لافا بركان « مونالوا » عادة من خلال شقوق وفوالق فى جوانبه ، كما تفيض أيضاً من فوهته .

أما بركان « كيلويا » فيقع إلى الشرق من بركان « مونالوا » بنحو ٣٥ كم . وفى قمته توجد فوهة فسيحة من نوع «كالديرا» (سيرد شرحها فيما بعد) يبلغ طول محيطها نحو ١٥ كم ، وهى عبارة عن منخفض بيضاوى الشكل تحيط به حافات أو حوائط صخرية رأسية يبلغ ارتفاعها نحو ١٤٠ م . ويشغل قاع المنخفض فرن نارى دائم يطلق عليه اسم هاليموماو Halemaumau بلغ اتساعه قبل عام ١٩٢٤ حوالى ٤٠٠ متر ، وهو أشبه ببحيرة فيها تغلى مواد بازلتية منصهرة ، تبلغ درجة حرارتها بين ١٠٠٠ و ١٢٠٠° م (متوسطها حوالى درجة انصهار الذهب ١٠٦٢°م) . وفى عام ١٩٢٤ هبط فرن اللافا فجأة فى قاع المنخفض بمقدار ٢٠٠ متر، وقد تبع ذلك حدوث انفجارات فى جوانب الفوهة فازداد اتساعها وأصبح طولها حوالى ١٠٠٠ متر وعرضها ٩٠٠ متر وعمقها ٤٠٠ متر .

وقد دلل انفجار هذا البركان فى عام ١٩٢٤ بعد فترة طويلة دامت ١٣٤ سنة ، كانت خلالها تخرج المصهورات بهدوء ، على أنه حتى البراكين



شكل (١٢٦) : الثوران الانفجارى لبركان كيلويا Kilauea فى عام ١٩٢٤ ، وقد وصل ارتفاع هذه السحابة التى تشبه فى مظهرها « القنبيط » نحو كيلو مترين .

البازلتية التي تنبثق منها عادة أكثر أنواع اللافا سيولة من الممكن أحياناً أن تثور في هيئة انفجارات عنيفة . ويعزى حدوث هذه الانفجارات إلى إنصباب كميات كبيرة من المياه في عنق البركان نتيجة لهبوط قرن اللافا المفاجئ إلى عمق كبير ، وترتب على ذلك توليد كميات هائلة من الأبخرة تسببت في إحداث الانفجارات .

٢ - نوع بيلي Pelean Type (المرحلة البيلية Pelean Phase) :

يطفح هذا النوع من البراكين لافا لزجة Viscous lava ، تتصلب في فوهة البركان ، فتسد الطريق أمام انطلاق الغازات والأبخرة ، وهذا يفسر نوع ثورانات هذه البراكين التي يصحبها هزات أرضية عنيفة وانفجارات تقذف بكميات هائلة من الأبخرة والغازات والرماد والحطام الصخري والقذائف . وتنفث هذه البراكين غازات بالغة الحرارة (نحو ٧٠٠م وأكثر) . ولهذا السبب فإن سحب الغازات والرماد التي تهبط على جوانب المنحدرات في عنف العواصف الجوية تدمر كل ما يصادفها في طريقها ، فمثل هذه السحب هي التي أهلكت مدينة « سان بيير » Saint Pierre حينما ثار بركان « مونت بيلي » الذي يقع في جزيرة مارتنيك Martinique من جزر الهند الغربية .

وقد بدأ بركان مونت بيلي Mount pelee يثور في مايو من عام ١٩٠٢ في شكل سلسلة من الانفجارات العنيفة ، وقد كان هادئاً منذ عام ١٨٥١ إلا من بعض الثورانات الضعيفة المتقطعة . وقد استهل ثورانه العام بنشاط ... ، وفي صباح يوم ٨ مايو اندفعت سحابة ... بمكونات ... كثيفة تتكون من الأبخرة والغازات الشديدة الحرارة والحمم والجمرات الملتهبة ، اتخذت طريقها تجاه البحر بسرعة بلغ معدلها نحو كيلو مترين في الدقيقة الواحدة . وقد إكتسحت السحابة في طريقها مدينة سان بيير التي تبعد عن مصدر السحابة بنحو ٨ كيلو متر ، ودمرت المدينة في ثواني معدودات ، وأهلكت سكانها واللاجئين إليها من الأراضي المتاخمة للبركان في الأيام السابقة لثورانه العارم طلباً للحماية والأمن .

وقد ذهب ضحية السحابة نحو ٢٨٠٠٠ نفس فى بضع ثوان، ولم ينج من سكان المدينة سوى شخصين فقط ! .. وقد دام انبثاق تلك السحب القاتلة فى فترات متقطعة غير منتظمة عدة أشهر . ولم يهدأ ثورانه تماماً إلا بعد عام ١٩٠٥ .

وفى ١٦ سبتمبر عام ١٩٢٩ حدثت انفجارات أخرى فى بركان مونت بيلى ، وفى اليوم التالى ـ أى بعد حدوث تلك الانفجارات بيوم واحد لم يبق حياً فى مدينة سان بيير سوى ثلاثين شخصاً . وفى منتصف نوفمبر بدأت سحب كثيفة فى التصاعد من البركان .. وقد خرج منها المئات التى اختلف فى مقدار ضخامتها وكثافتها ، ولكن أياً منها لم يصل فى عنفوانه وتدميره القدر الذى بلغته سحب ثوران عام ١٩٠٢ . ويرجع سبب الضعف النسبى لتلك السحب إلى أن فترة الهدوء كانت من القصر (بين عامى ١٩٠٢ و ١٩٢٩) بحيث لم ينشأ خلالها مثل الضغط الغازى البالغ الشدة الذى أحدث انفجارات وسحب ثوران عام ١٩٠٢ .

ولقد وجه ثوران بيلى فى عام ١٩٠٢ الأنظار إلى دراسته وتحديد مميزاته وخصائص سحبه التى تعرف الآن باسم « السحب البيلية Pelean Clouds .

ويمكن تلخيص السمات العامة للسحب البيلية فيما يلى :

ينفث البركان السحابة فى شكل هبة انفجارية من تحت سدادة اللافا المتصلبة فى قاع فوهته . وتكون السحابة شديدة الحرارة ، تجرى بسرعة كبيرة تصل إلى نحو كيلو مترين فى الدقيقة ، وتحمل معها كميات هائلة من الحطام الصخرى ، يبلغ قطر بعض مكوناته بضعة أمتار . ويترسب كل الحطام الصخرى دفعة واحدة بلا تناسق أو انتظام ، وتبدو السحابة فى شكل ستار ضخم من الدخان يحجب وراءه المميزات الرئيسية لطبيعة انبثاق المواد .

٣ - نوع فيزوف Vesuvian :

تتميز لافا هذا النوع من البراكين باحتوائها على كمية كبيرة نسبياً من السيليكا ، ولهذا فإنها تكون لزجة بدرجة قد تعمل على انسداد قمة العنق البركانى إلى الفوهة ، ويترتب على هذا أن تتجمع الغازات والأبخرة فى أعماق قشرة الأرض . وهذا هو السبب عادة فى حدوث انفجارات عنيفة تقذف كميات ضخمة من الرماد البركانى والحطام الصخرى والقذائف فى الهواء . وبسبب لزوجة اللافا نجد أن القذائف لا تلتوى ، وحينما تسقط على الأرض فإنها تنبسط فى هيئة أقراص مفرطحة . كما أن تدفقات اللافا لا تنتشر فى مساحات واسعة ، وحين تتصلب تتخذ شكل الجلاميد الخشنة غير منتظمة الهيئة . ويشمل هذا النوع براكين شبه جزيرة كمتشاتكا Kamchatka وبركان إتنا Etna فى جزيرة صقلية ، وبركان فولكانو Vulcano فى أقصى جنوب جزر ليبارى Libari فى البحر المتوسط ، وبركان فيزوف فى إيطاليا .

ويعتبر بركان فيزوف مثالاً طيباً لهذا النوع من البراكين الذى فيه يمكن أن يتباين البركان الواحد تبايناً عظيماً فى كثافته وفى طبيعة نشاطه.

يقع بركان فيزوف فى مكان يحتله بركان قديم يسمى بركان «سوما» Somma ، كان يعرفه الرومان على أنه بركان خامد. وفى عام ٧٩ ميلادية نشط البركان وثار محدثاً انفجارات عنيفة أدت إلى تخريب مدينتى هرقليا Herculaneum وبمباى Pompeii ، وكانتا تقعان على جوانبه المواجهة للبحر . وقد أطاحت الانفجارات بقمة البركان القديم وبكثير من جسم مخروطه أيضاً ، وبدأ فيزوف ينشأ ويتكون على انقاض المخروط المتداعى القديم ، حتى صار ارتفاعه الآن نحو ١٢٠٠ متر . وما زالت بقايا البركان القديم تحيط ببعض جوانب فيزوف فى هيئة حافة هلالية الشكل. وبركان فيزوف فى حالة نشاط مستمر ، ولكنه نشاط هادئ معتدل تتخلله بعض الثورانات العنيفة فى فترات متقطعة غير منتظمة . وقد ثار

ثلاث مرات بشدة وعنف وذلك فى أعوام ٧٩ م و ١٦٣١ م و ١٩٠٦ م . وقد أمكن التعرف على ثلاث مراحل من نشاطه أثناء ثورانه فى عام ١٩٠٦ .

فى المرحلة الأولى التى دامت أربعة أيام كانت تخرج منه كميات هائلة من اللافا فى تدفقات عظيمة ، خاصة من خلال شقوق وفوالق كانت تتفتح على جوانب مخروطه من أعلى إلى أسفل على التوالى . وفى خلال تلك المرحلة أيضاً حدثت انفجارات شديدة قذفت بكميات عظيمة من اللافا مئات الأمتار فى الهواء .

وفى المرحلة الثانية أخذ البركان ينفث كميات هائلة من الغازات التى كانت تنبثق من تحت ضغط شديد ، وترتفع فى الجو فى شكل هبة مستمرة تنطلق بسرعة عظيمة إلى ارتفاع بلغ نحو ١٣ كيلو مترا ، ثم أخذت تنتشر فى هيئة سحب تشبه فى شكلها القنبيط . وقد استمرت تلك الهبة دائبة طوال نهار ٨ ابريل . واتسعت فوهة البركان نتيجة لانبثاق تلك الغازات بكميات كبيرة .

أما المرحلة الثالثة فقد اتسمت بخروج رماد بركانى داكن فى هيئة انفجارات منفردة ولكنها كانت قوية .

وقد دام الثوران بجميع مراحله ١٨ يوماً ، وفى نهايته أصبحت سعة الفوهة عند قمتها نحو ٦٦٠ مترا ، كما بلغ عمقها نحو ٦٠٠ متر .

٤ ــ نوع استرومبولى Strombolian Type :

ويمثل هذا النوع بركان استرومبولى فى البحر المتوسط . وهو يخرج لافا بازلتية سائلة كبراكين هاواى ، ولكنه يختلف عنها فى أنه ينفث كميات كبيرة من الغازات ، كما يقذف رماداً وقذائف . وكثيراً ما تلتوى القذائف فى الجو . وتتميز اللافا التى تتدفق من هذا النوع من البراكين بتموج سطحها مثلها فى ذلك مثل لافا براكين هاواى .

٥ ــ نوع بنداى Bandai Type :

تتميز ثورانات هذا النوع من البراكين بحدوث هزات أرضية عنيفة

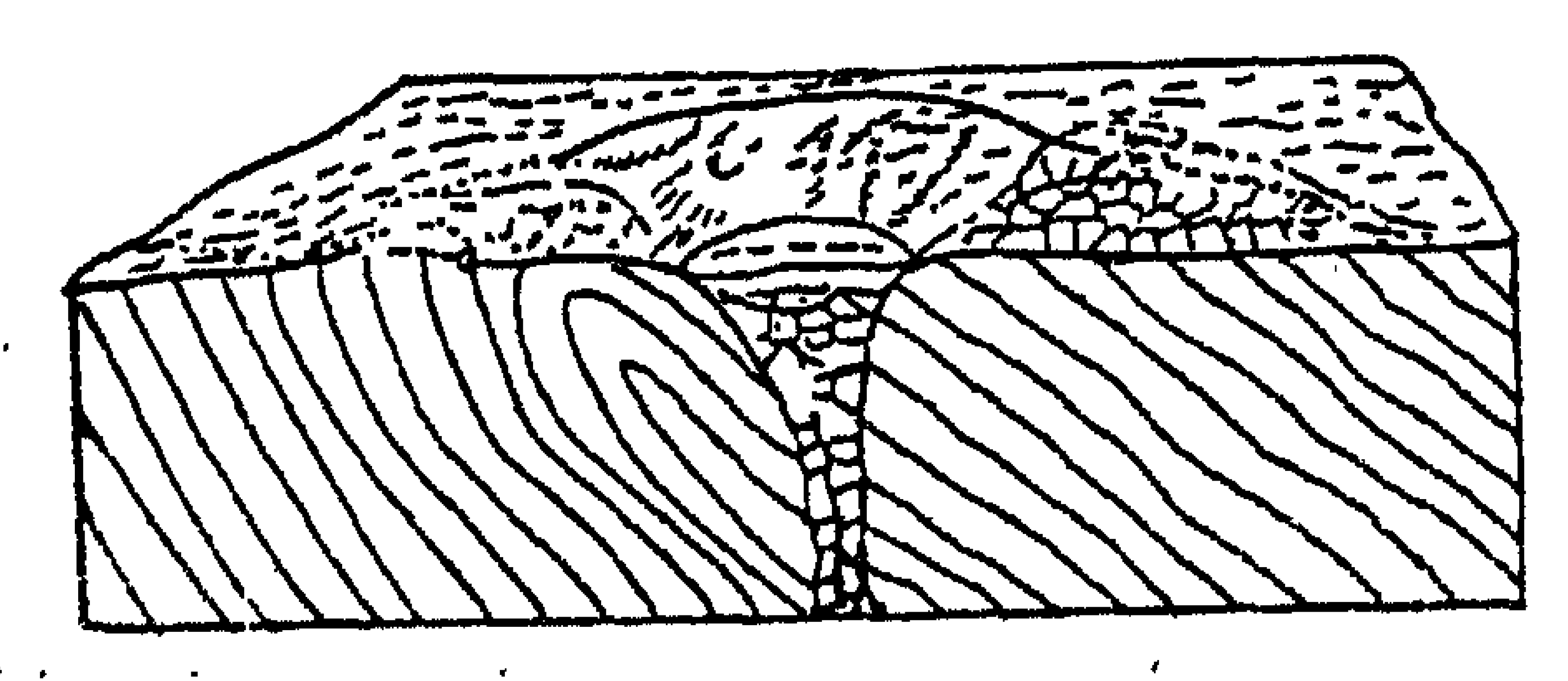
وانفجارات شديدة ، واندفاع كميات عظيمة من الغازات والرماد البركانى . ومن أمثلة هذا النوع من البراكين بركان بانداى ، وبركان كراكاتاو Krakatau ، وبركان كاتماى Katmai . وقد لا يصحب ثوران هذه البراكين خروج اللافا ، ويرجع السبب فى ذلك إلى أن الصهير الذى يغذيها يكون فى درجة عالية من الحامضية (يحتوى على نسبة كبيرة من السيليكا) ومن ثم يكون عظيم اللزوجة .

٦ - نوع الحفر الانفجارية أو الأعناق البركانية

Explosion Pits or Volcanic pipes :

ينشأ هذا النوع من البراكين نتيجة لانفجارات غازية منفردة دون أن يصحبها خروج لافا . وهى تتركب من أعناق نهاياتها بيضاوية الشكل ، وفوهات عبارة عن تجاويف تشبه الكأس أو القمع فى هيئتها ، تتميز جوانبها بانحدار هين ، ويبلغ قطرها بضع عشرات من الأمتار ، وقد يصل إلى نحو ثلاثة أو أربعة كيلو مترات . وتقع قيعان الفوهات دون منسوب الأرض المحيطة بها . ويحيط ببعض فوهات هذه البراكين حاجز من الحطام البركانى والتوفا البركانية التى تختلط بحطام الصخور القارية التى اخترقها الانفجار وفجرها (شكل ١٢٧) . وتسمى هذه البراكين أحياناً باسم البراكين الأجنة Embryonic .

وتمتلئ الفوهات بالمياه فى الجهات المطيرة وتكون بحيرات (مار Maar) . وكثيراً ما تكتسح عوامل التعرية معظم تكويناتها فتظهر أعناقها (أنابيب الانفجار) على سطح الأرض .

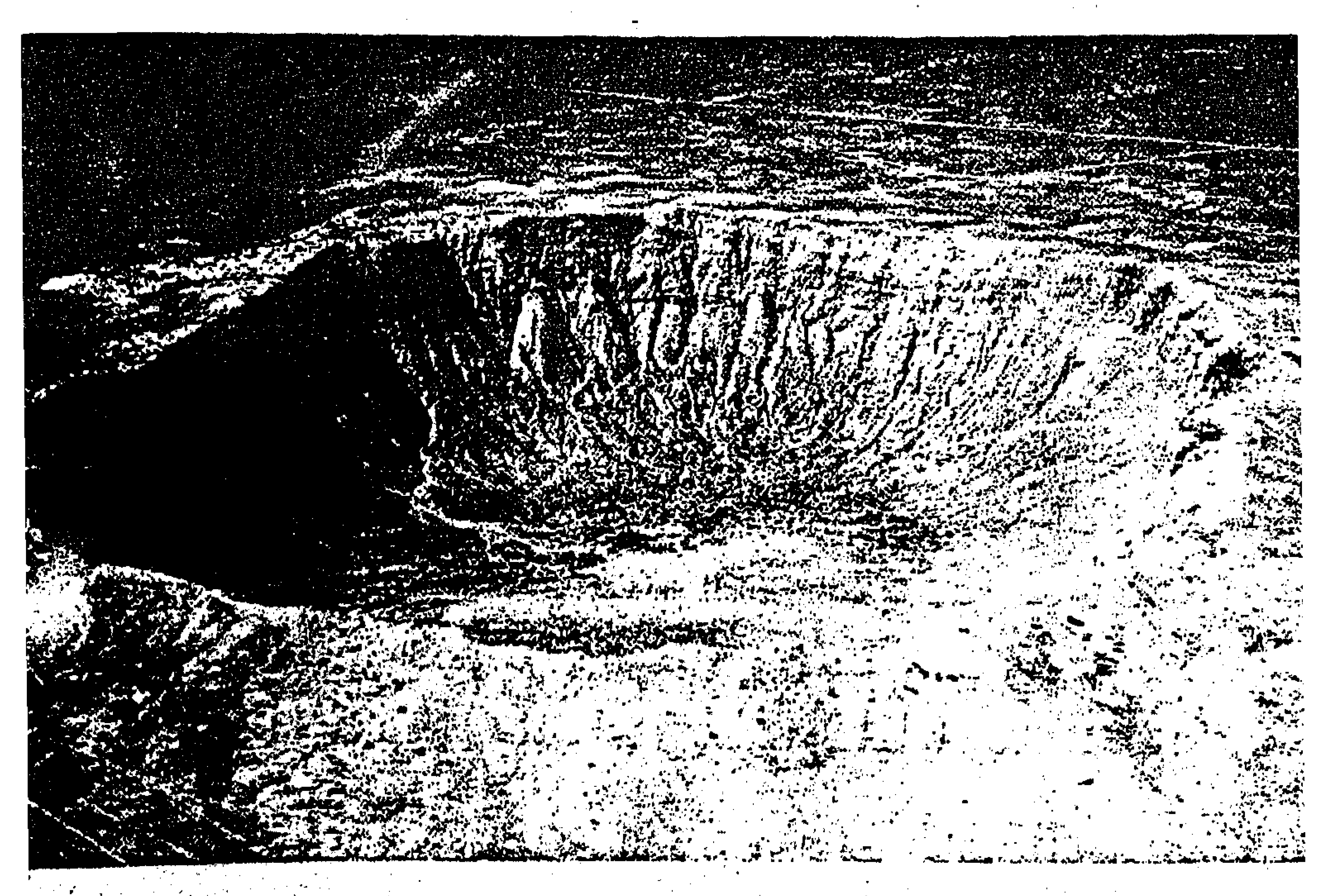


شكل (١٢٧) : حفرة انفجارية تحتلها بحيرة

يلاحظ أن الحطام الصخرى حول الفوهة يتركب من الصخر الأساسى الذى اخترقته القناة البركانية .

الراين. فهناك نجد ما يقرب من ١٣٠ منها فى هضبة أيفل Eifel ؛ وتوجد أيضاً فى جنوب افريقيا فى مرتفعات كيمبرلى Kimberley ممثلة فى أنابيب تحتوى تكويناتها على معدن الماس . ويوجد مثل هذه الأنابيب الأخيرة فى الاتحاد السوفيتى فى ياكوتيا Yakutia .

وفى ولاية أريزونا Arizona بالولايات المتحدة الأمريكية توجد حفرة شبيهة بهذه الحفر الانفجارية ، يبلغ قطرها نحو ١٢٠٠ متر وعمقها حوالى ١٥٠ متراً . وقد عثر فيها وحولها على حديد كونى Meteoritic iorn نشأ عن تساقط مواد النيازك المحترقة . وقد اتخذ هذا دليلاً على أن الحفرة لم تنشأ بفعل انفجار بركانى ، إذ يعتقد أنها تكونت نتيجة لاصطدام كتلة ضخمة من نيزك محترق بالأرض فى ذات الموقع ، وما تولد عن ذلك من انفجار سببته الحرارة عن الاصطدام . ولهذا تسمى هذه الحفرة بالفوهة الكونية Meteor Crater .



شكل (١٢٨) : فوهة أريزونا الكونية .

براكين الكسور Fissure Volcanoes :

للبراكين التى سبق أن وصفناها مراكز تغذية محدودة ومعلومة ، ولهذا تسمى بالبراكين المركزية Central Volcanoes . وعلى النقيض منها نجد براكين الكسور التى تخرج الغازات واللافا لا من خلال فوهة مركزية ولكن من خلال كسور تكتونية ، ولقد تبدو براكين الكسور فى بعض الأماكن بمظهر التلال البركانية التى تتغذى من فرن صهير عام مشترك . ونجد أمثلة هذه البراكين فى جزيرة أيسلندا . ولقد تمتد الكسور إلى نحو ٤٠ كيلو متراً ، وتطفح كميات هائلة من اللافا التى تغطى مساحات عظيمة على جوانبها وكثيراً ما نجد على طول الكسور صفوفاً من التلال البركانية .

ولا يتخذ كثير من براكين الكسور الشكل المخروطى ، وإنما تتوزع اللافا التى تطفحها وتنتشر على سطح الأرض فى شكل أشرطة عظيمة الاتساع والطول . وتختلف أشرطة اللافا Lava Sheets هذه عن مجارى اللافا Lava Streams المنبثقة من البراكين المركزية ، فالأخيرة لا يزيد اتساعها عن كيلومتر واحد عند قاعدة البركان ، كما أن سمكها لا يزيد على ١٠٠ متر ، وطولها يتراوح بين ١٥ و ٢٠ كيلو مترا ، وقد يزيد على ذلك فى بعض الأحيان . أما أشرطة اللافا فكثيراً ما تفيض وتغطى مساحات هائلة . فأشرطة اللافا التى انبثقت من براكين الكسور القديمة تغطى مساحات تبلغ مئات الآلاف من الكيلو مترات المربعة كما فى هضبة أرمينيا وهضبة الدكن Deccan فى الهند ، وفى هضاب أخرى بأمريكا الشمالية وأمريكا الجنوبية .

هذا ويسود وجود البراكين المركزية فى الوقت الحاضر . أما براكين الكسور والثورانات البركانية الفسيحة (على نطاق واسع) فقد سادت أثناء العصور الچيولوچية السحيقة فى القدم ، حينما كانت قشرة الأرض أرق وأقل سمكاً منها فى العصر الحالى .

وحينما تتدفق اللافا على سطح الأرض فإنها تكون مجارى وأشرطة وقباب ، ويتصلب الجزء السطحى منها مكوناً لقشرة رديئة التوصيل للحرارة ، ولهذا فإن اللافا تستمر فى تدفقها من تحت هذه القشرة المتصلبة لعدة أيام بعد حدوث الثوران ؛ وهذا هو السبب فى تكوين الكثير من التجاويف Hollows فى مجارى وأشرطة اللافا ، وبعض هذه التجاويف يكون كبيراً جداً . فعلى منحدرات جبل شاستا Mount Shast a البركانى فى كاليفورنيا ، يوجد تجويف يبلغ ارتفاعه بين ٢٠ و ٢٥ متراً . واتساعه بين ٦ و ٢٠ متراً ، وطوله أكثر من ١٥٠٠ متر ، ويبلغ سمك سقفه بين ٣ و ٢٠ متراً .

ويوجد بالاتحاد السوفييتى تجاويف فى أشرطة اللافا حول بحيرة سيفان Sevan فى أرمينيا . وتُستخدمُ التجاويف الجافة كثيراً كحظائر للماشية .

نتاج البراكين :

يخرج من البراكين حين ثورانها حطام صخرى صلب وغازات ومواد سائلة .

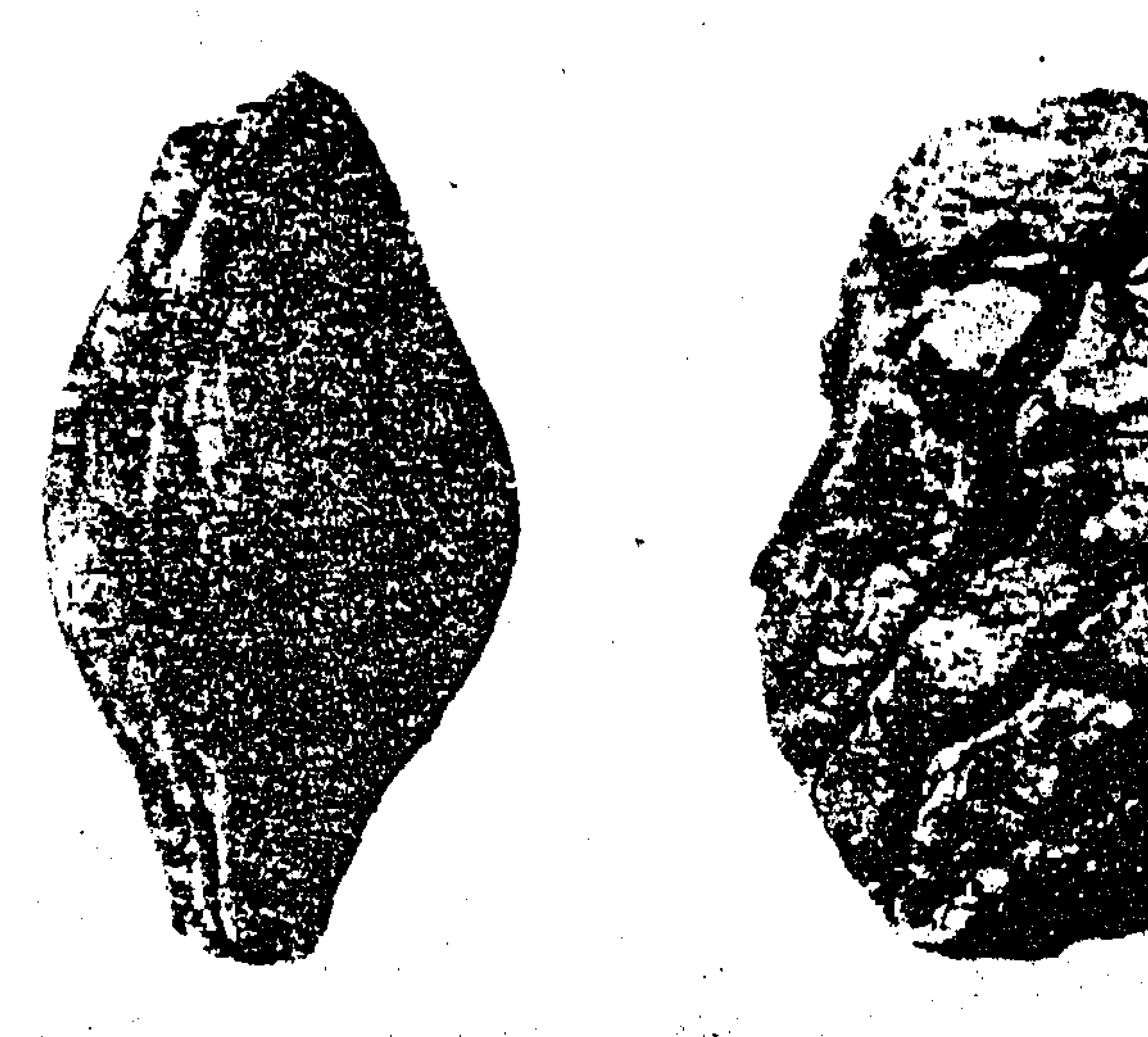
١ - الحطام الصخرى :

ينبثق نتيجة للانفجارات البركانية حطام صخرى مختلف الأنواع والأحجام عادة فى الفترة الأولى من الثوران البركانى . ويشتق الحطام الصخرى من القشرة المتصلبة التى تتركب من اللافا القديمة المتخلفة من ثورانات سابقة ، ومن المواد الصخرية التى تنتزع من جدران العنق نتيجة لدفع اللافا والمواد الغازية المنطلقة من الصهير بقوة وعنف . ويتركب الحطام الصخرى من مواد تختلف فى أحجامها فمنها الكتل الصخرية ، والقذائف والجمرات والرمل والغبار البركانى .

أما الكتل الصخرية Blocks فتخرج من البركان فى هيئة كتل صلبة يزيد قطرها عن ٣٢ ملليمترا ، وهى كتل غير منتظمة الشكل حادة

الحواف ، وقد تكون كبيرة الحجم يصل قطرها إلى بضعة أمتار ، وتستطيع قوة الانفجار أن تقذف بها فى الجو إلى ارتفاع مئات الأمتار .

ويخرج من البركان أيضاً حين ثورانه ما يسمى **بالقذائف** Bombs البركانية ، وهى تشبه الكتل الصخرية فى حجمها ولكنها تختلف عنها فى شكلها المستدير أو البيضاوى ، كما أنها تنطلق من البركان فى هيئة سائلة إلى ارتفاع مئات من الأمتار وتدور حول نفسها فتتخذ الشكل الحلزونى أو المغزلى ، وقد تستعيد شكلها الأصلى قبل أن تتساقط على الأرض (شكل ١٢٩) .



شكل (١٢٩) : قذائف بركانية .

وتسمى القطع الصخرية التى يتراوح قطرها بين ٣٢ مم و ٤ مم **بالجمرات أو الأحجار الصغيرة** Lapilli (كلمة لاتينية) .

أما الغبار البركانى Ash فمنه الخشن الحبيبات (تتراوح أقطارها بين ٤ مم و ٢٥ ,. مم) الذى يسمى بالغبار الخشن أو الرمل البركانى ومنه الدقيق الحبيبات (أقطارها أقل من ٢٥ ,. مم) الذى يسمى بالغبار الناعم.

وينبثق من البراكين أثناء ثوراتها كميات هائلة من الغبار البركانى ، فحين ثار بركان كاتماى Katmai فى الاسكا عام ١٩١٢ أخرج كميات من الغبار ترسبت وغطت المنطقة المحيطة بالبركان بسمك بلغ أكثر من أربعة أمتار ، كما غطت مساحة من الأرض المحيطة بلغت نحو ١٠٠ كم٢ بسمك وصل إلى ١٠ سم . وقد قذف البركان نحو ٢٠ كيلو مترا مكعبا من الحطام الصخرى . وقد تغلف جو المنطقة بالظلام نحو ٦٠ ساعة . وتساقط المطر من السحب البركانية لمدة ٢٥ ساعة متواصلة .

وقد تستدق حبيبات الغبار أحياناً لدرجة أن الانفجار الغازى يستطيع رفعه إلى نحو عشرة كيلو مترات فى الجو ، حيث تلتقطه التيارات الهوائية وتحمله لفترة طويلة فى الطبقات السفلى من الغلاف الجوى ، فحين ثار بركان كراكاتاو Krakatau فى قلب مضيق سوندا Sunda فى عام ١٨٨٣ ، قذف بكميات عظيمة من الغبار ظلت تسبح فى الجو أكثر من عام كامل .

وحينما تتساقط الأمطار حين انبثاق الغبار البركانى ، تنشأ كتل من الطين السائل ، تندفع على منحدرات البركان بسرعة وتكتسح كل ما يصادفها فتسبب خسائر عظيمة فى مناطق العمران القريبة من البركان .

وعادة تخرج الكتل الصخرية والقذائف والجمرات والغبار فى شئ من التناسق والانتظام ، ولكنها أحياناً تندفع فى هيئة انفجارات عملاقة فتحطم فوهة البركان ، وقد تقذف بالمخروط كله فى الجو تاركاً مكانه حفرة عميقة متسعة . وتترسب مواد الغبار والرمل البركانى حول البركان مكونة لكتلة مفككة ، لا تلبث أن تندمج بالتدريج نتيجة لثقل الرواسب المتراكمة فوق بعضها ، ولفعل المياه مكونة لصخر **التوفا البركانية** ، أما الغبار والرمال البركانية التى تتساقط فوق البحيرات والبحار فإنها تترسب فى القاع حيث تختلط بالمواد الطينية والرملية مكونة لصخر بركانى رسوبى يسمى **توفيت** Tuffite .

٣ - الغازات :

تخرج من البراكين أثناء نشاطها غازات أهمها بخار الماء الذى ينبثق بكميات عظيمة مكوناً لسحب هائلة يختلط فيها الغبار والغازات الأخرى . وتتكاثف هذه الأبخرة مسببة لأمطار غزيرة تتساقط فى محيط البركان . ويصاحب الانفجارات وسقوط الأمطار حدوث أضواء كهربائية تنشأ من احتكاك حبيبات الرماد البركانى ببعضها ، ونتيجة للاضطربات الجوية .

وقد تتباين أنواع الغازات من بركان لآخر ومن مرحلة لأخرى من مراحل ثوران البركان الواحد . وعدا الأبخرة المائية الشديدة الحرارة ينفث البركان غازات متعددة أهمها الايدروچين والكلورين والكبريت والنيتروچين والكربون والاوكسچين ، وأحياناً ثانى أوكسيد الكربون والميثان ، هذا عدا حامض الايدروكلوريك وحامض الايدروفلوريك وثانى أكسيد الكبريت وكبريتيد الايدروچين والأمونيا وكلوريد الأمونيوم وكربونات الأمونيوم التى تنفثها كثير من البراكين .

وتخرج كثير من البراكين ومنها البراكين الإيطالية كميات عظيمة من الكلوريدات أثناء ثوراناتها ، وقد أدى هذا إلى نشوء الرأى الذى يقول بأن الثوران البركانى إنما ينشأ بسبب رشح مياه البحر الغنية بالكلوريدات ونفاذها إلى كتل الصهير فى الأعماق . وإذا جاز هذا بالنسبة للبراكين الإيطالية فإنه قد لا يجوز بالنسبة لبراكين أخرى ، بحيث لا نستطيع اتخاذه كقاعدة عامة للثوران البركانى ، فبركان كيلويا Kilauea فى جزيرة هاواى لا ينفث أثناء ثورانه شيئاً من الكلوريدات إطلاقاً .

وعدا ما تخرجه البراكين من فوهاتها من غازات وأبخرة فى شكل نفثات متتالية ؛ تتطاير الغازات والأبخرة أيضاً من اللافا السائلة المتدفقة حينما تأخذ فى البرودة التدريجية ، ويستمر تطايرها منها عدة أسابيع وأحياناً عدة أشهر إلى أن تتصلب كتل اللافا تماماً .

مصادر الغازات :

يعتبر بخار الماء الغاز الرئيسى الذى ينبثق من كتل الصهير . وتبلغ نسبته نحو ٩٥٪ من المجموع الكلى للغازات ، وقد تزيد عن ذلك . ويحتمل أن الماء كان جزء من المواد الأصلية التى كونت الأرض ، تداخل فى تكويناتها أثناء نشأتها بفترة قصيرة ، وقد ترجع نشأته إلى اتحاد عنصرى الأيدوچين والأكسوچين من الجو أو من غيره ، أو إلى ماء مطر تشربته كتل الصهير من الصخور المحيطة بها . وقد يكون وصوله إلى الصهير قد حدث نتيجة لصهر الصخور التى تحتوى معادنها على الماء . ولم يستطع أحد من الباحثين حتى الآن تقدير المياه التى يمكن أن تشتق من أى من تلك المصادر السالفة الذكر .

ويعتبر غاز ثانى أكسيد الكربون من أهم الغازات التى تنفثها البراكين . وينشأ فى الصهير نتيجة لصهر كميات من الصخور الجيرية . وحين تمتص كتل الصهير كميات كبيرة من هذا الصخر فإنها تتشبع بقدر عظيم من ثانى أكسيد الكربون . فتتولد من ذلك ضغوط عظيمة تنشأ عنها الثورانات البركانية .

أما الغازات السريعة الالتهاب كالأيدروچين والكبريت وأول أوكسيد الكربون فيبدو أنها تمثل قسماً أو مكوناً أصيلاً لمواد الصهير ذاتها . وينشأ عن اشتعال تلك الغازات خاصة غاز الأيدروچين اللهيب الذى يُرى أثناء الثوران البركانى .

٣ ـ اللافا :

هى كتل سائلة تلفظها البراكين ، وتختلف عن الصهير فى أنها تفقد ما تحويه من الغازات والأبخرة حين تنساب على سطح الأرض . وتبلغ درجة حرارتها عادة بين ١٠٠٠°م و ١٢٠٠°م .

وتنبثق اللافا من فوهة البركان ، كما تطفح من خلال الشقوق والفوالق فى جوانب المخروط البركانى الضعيف البنيان التى تنشئها

الانفجارات وضغط كتل الصهير . وقد يحدث أن ينهار جانب من المخروط كلية ، فتندفع اللافا من الفتحة التى أحدثها الانهيار ، ويحدث ذلك حينما تتألف مواد المخروط من القذائف المفككة التى لا تقوى على مقاومة ضغوط كتل الصهير .

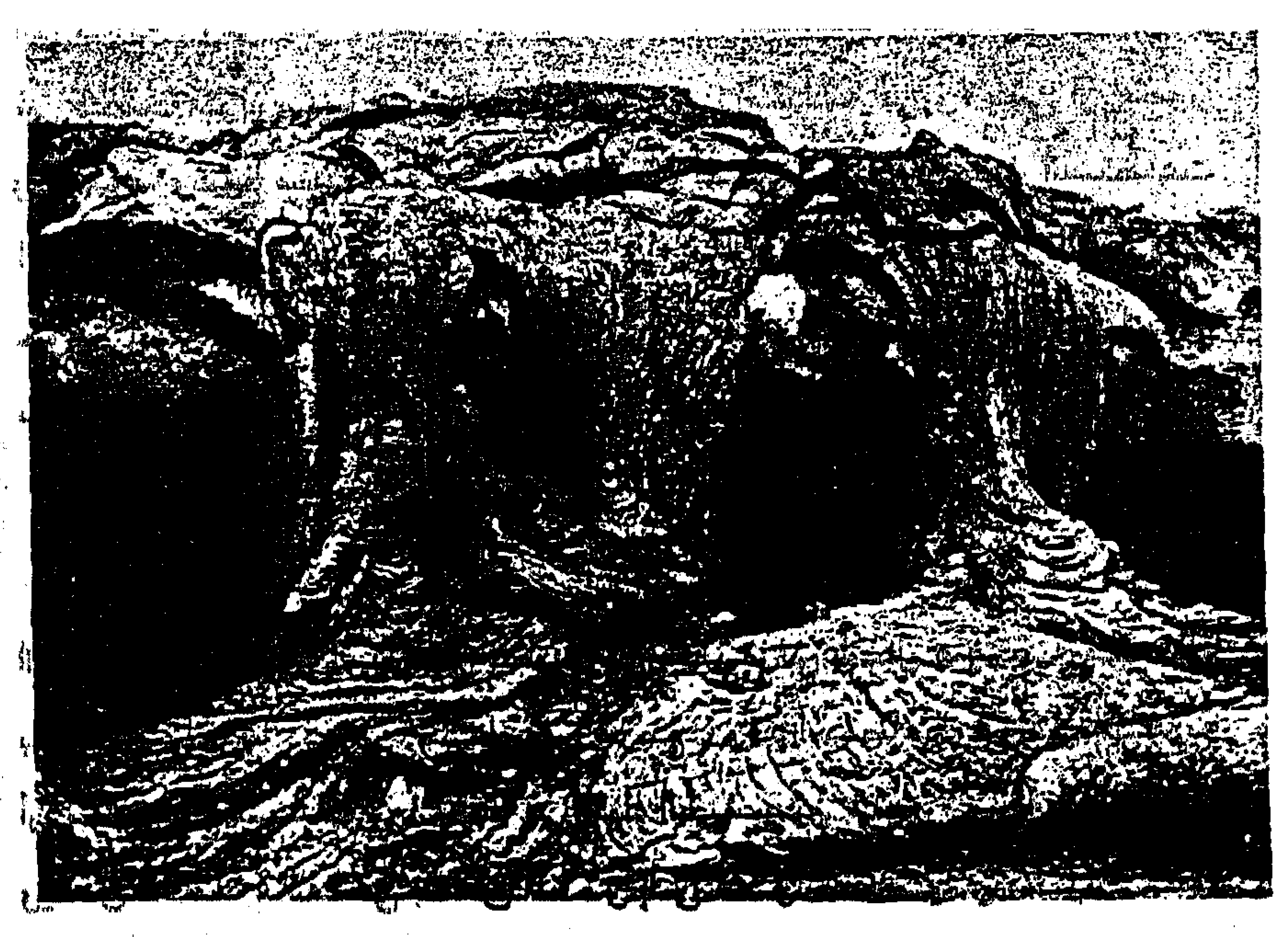
وتتوقف طبيعة اللافا ومظهرها وكذلك طبيعة الصخر الذى ينشأ عنها بعد تصلبها على عدة أمور منها التركيب الكيماوى لكتل الصهير الذى تنبعث منه اللافا ، فقد يحتوى على نسبة كبيرة من أكسيد السيليكون فينشأ عنه ما يعرف باللافا الحامضية الفاتحة اللون التى تتصلب مكونة لصخر فاتح اللون هو الرايوليت Rhyolite . وتتميز هذه اللافا بعظم لزوجتها ومن ثم تتصلب فى هيئة كتلية إذ أنها بطيئة التدفق . وقد يحتوى الصهير على كمية متوسطة من أكسيد السيليكون ومن ثم تخرج منه اللافا بلون فاتح نوعاً ، وتتصلب مكونة لصخر لونه بين الفاتح والداكن ، وهو صخر الأنديزيت . أما اللافا البازلتية فتخرج من صهير قاعدى ، لذا تتميز بالسيولة فتنساب فى مساحة كبيرة . وحين تتصلب تكون صخر البازلت الأسود اللون . وأعظم أنواع اللافا سيولة وتدفقاً هى اللافا فوق القاعدية .

وتتميز اللافا الحامضية بخفتها وألوانها الفاتحة (رمادية أو محمرة) كما أنها لزجة غنية بالغازات وتبرد ببطء . أما اللافا القاعدية فهى داكنة اللون (رمادية داكنة أو خضراء أو سوداء) ، سائلة وتحتوى على نسبة قليلة من الغازات .

وتعتبر كتل اللافا التى انبثقت من بركان بيلى Pelee فى عام ١٩٠٢ مثالاً لنوع اللافا الحامضية اللزجة . فقد كانت كثيفة لزجة لدرجة أنها لم تقو على التحرك ، وأخذت تتراكم وترتفع مكوّنة لبرج فوق الفوهة . وقد بلغ ارتفاع هذا البرج نحو ٣٠٠ متر ، ثم ما لبث بعد ذلك أن تكسر وتحطم حينما بردت اللافا ، نتيجة للانفجارات التى أحدثها خروج الغازات . وقد تحتفظ اللافا الحامضية بشكل قبابى فوق فوهة البركان دون أن تتحطم ،

ومثلها قباب « لاسين » Lassen الثلاث عشرة في المنتزه الوطني بالولايات المتحدة الأمريكية Lassen Volcanic National Park .

وتختلف لافا براكين هاواي عن لافا بركان « بيلي » كل الاختلاف سواء في خصائصها وفي تركيبها الكيماوي . فهي لافا من النوع البازلتي الغني بالمركبات الحديدية والمجنيسية والفقير في نسبة السيليكا . وهي سائلة ومتحركة تقابل منحدراً شديداً تندفع عليه في هيئة المساقط المائية وحينما تتصلب تبدو في هيئة مفتولة Corded Lava (شكل ١٣٠) وتتحرك هذه اللافا بسرعة خاصة فوق المنحدرات الشديدة ، ففي أثناء ثوران بركان « مونالوا » في عام ١٩٥٠ كان سيل اللافا يتدفق بسرعة ١٦ كيلو متراً في الساعة . وحين تبرد اللافا تزداد لزوجتها ومن ثم تبطئ في حركتها ، وقد تظل متحركة ببطء شديد لعدة أشهر .



شكل (١٣٠) : تدفقات من اللافا البازلتية في هاواي تبين تطاليب جسم البازلت في أشكال لافا مفتولة .

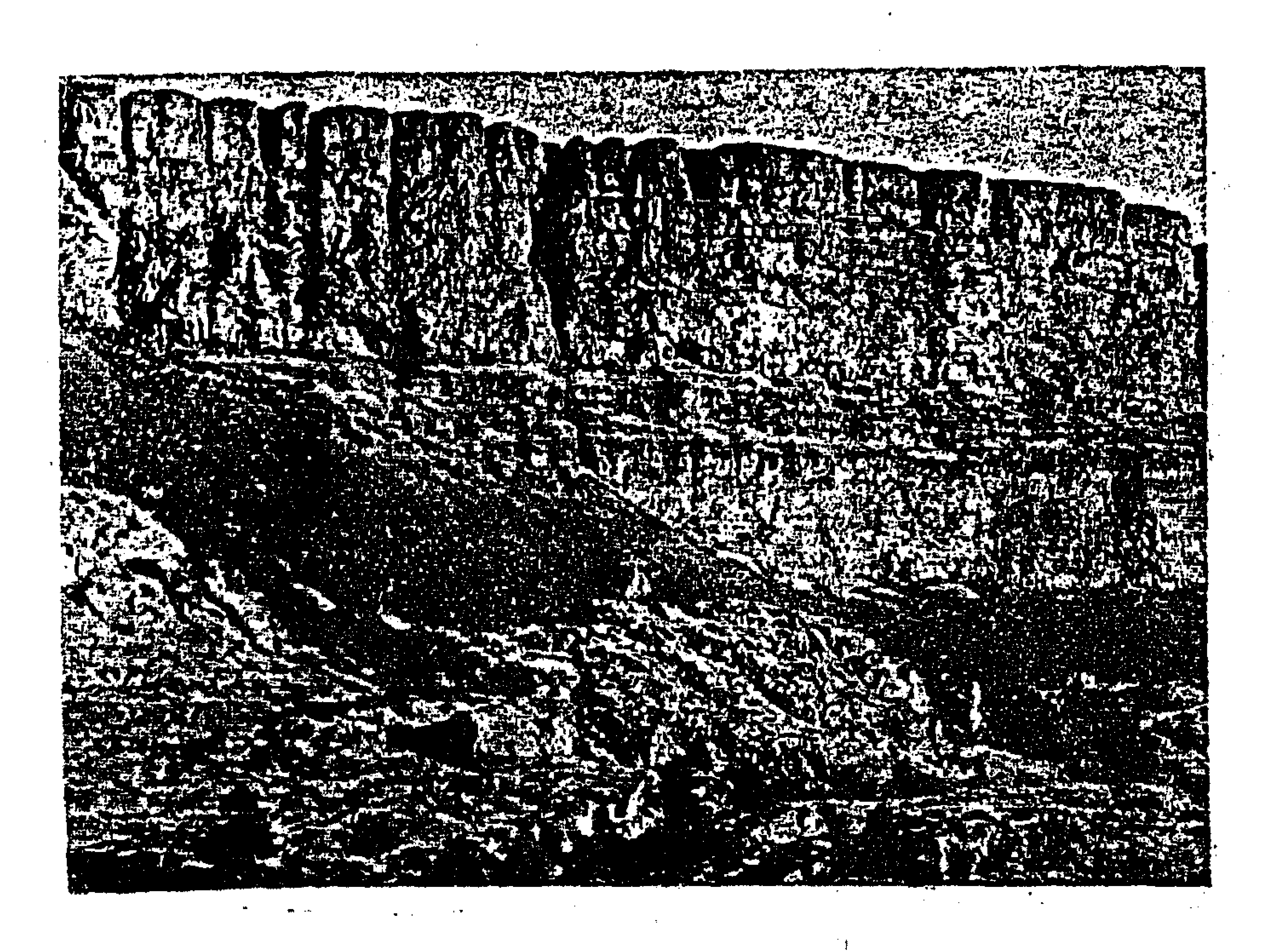
وتخرج اللافا أثناء تصلبها ما تحويه من الغازات التى تبدو فوق سطحها فى شكل فقاقيع غازية لا حصر لها ، تبدو كالزبد الذى حين يبرد ويتصلب يكون صخر الخفان (بوميس Pumice) الفاتح اللون أو الأبيض. وهو ينشأ على سطح اللافا الحامضية . . بنشأ عن تصلب الفقاقيع الغازية الكبيرة غير المنتظمة فوق سطح اللافا القاعدية ما يسمى بالزبد الصخرى Scoriae وهو عادة داكن اللون أو أسود وقد يكون محمراً .

غطاءات اللافا الفسيحة :

لقد بدأ تدفق اللافا منذ بداية الأزمنة الچيولوچية . وكان تدفقها من خلال شقوق عميقة فى قشرة الأرض (أنظر براكين الكسور) ، وسالت على وجه الأرض مكونة لسهول فسيحة أو هضاب عظيمة تتركب من غطاءات أفقية من المواد البازلتية تتداخل فيها بعض طبقات من التوفا البركانية . ومن بين هضاب اللافا البازلتية الفسيحة حقل اللافا الضخم فى هضبة كولومبيا فى ولاية واشنجتون وامتدادته فى ولايتى أوريجون وأيداهو ، وتبلغ مساحته ٤٢٠٠٠٠ كيلو متر مربع . وحيث استطاعت الأنهار أن تشق لها مجارى فى ذلك الحقل الفسيح ـ كما هى الحال فى خوانق أنهار كولومبيا وسنيك Snake ـ وجد أن سمك طبقات اللافا يبلغ نحو ١٢٠٠ متر (شكل ١٣١)

وتغطى اللافا البازلتية مساحة من هضبة الدكن بالهند تقدر بنحو ٥٠٠٠٠٠ كيلو متر مربع فى الوقت الحاضر . هذه المساحة ما هى فى الواقع إلا بقايا لغطاء بازلتى عظيم كان يمتد فى شكل هضبة متصلة بلغت مساحتها ٨٠٠٠٠٠ كيلومتر مربع ، وقد استطاعت عوامل التعرية أن تكتسح قسماً كبيراً منها فى أثناء الخمسين مليون سنة الأخيرة . ويصل سمك اللافا فى بعض المناطق إلى نحو ثلاثة كيلو مترات ، أما سمك طبقة اللافا الواحدة فيبلغ نحو خمسة أمتار .

ويبدو أن كتل الصهير التى تدفقت على وجه الأرض كانت فى حالة



شكل (١٣١) : لافا بازلتية

توضح الصورة طبقات اللافا الأفقية التى تراكمت فوق بعضها ، يبلغ ارتفاع الحافة نحو ٦٠٠ متر فى خانق نهر كولومبيا قرب ترينيداد بولاية واشنجتون .

متناهية من السيولة ، فاستطاعت أن تفيض على سطح مستوى تقريباً ، وتمتد لعدة كيلو مترات قبل أن تتصلب ، يدل على ذلك وضع أشرطة اللافا التى تبدو فى شكل طبقات أفقية ، كما يدل عليه أيضاً رقة تلك الطبقات التى يبلغ سمك كل منها نحو ٥ أمتار فى هضبة الدكن ، وبين ٦ أمتار و ١٢ متراً على جانبى خانق نهر كولومبيا .

وعلى الرغم من أن البازلت هو الصخر الرئيسى الذى نشأ عن تدفقات اللافا من خلال طفوح واسعة النطاق ، فإننا نجد أن صخر الرايوليت الفاتح اللون الذى يكون هضبة الرايوليت فى الـ Yellow-stone قد نشأ على ما يبدو من تدفقات طفحية على نطاق واسع أيضاً .

أصل الصهير مصدر اللافا :

يعتبر أصل الصهير ومنشأه من بين المسائل المعقدة التى تختص بطبيعة جوف قشرة الأرض . فالبراكين تخرج أنواعاً متباينة من اللافا ، إذ نجد بركان فيزوف يلفظ نوعاً من اللافا يختلف عن النوع الذى يفيض من بركان إتنا Etna . وأغرب من ذلك أن البراكين المتجاورة قد تخرج أنواعاً مختلفة من اللافا ، فبركان استرومبولى وبركان فولكانو Volcano يقعان فى جزر ليبارى ، ومع هذا نجد الأول يقذف لافا بازلتية بينما يخرج الثانى لافا رايوليتية فاتحة اللون ، وهما نوعان من اللافا مختلفان فى التركيب على غير ما يمكن أن نتوقع .

وعلاوة على هذا نجد أن طبيعة اللافا التى تنبثق من البركان الواحد قد تتغير على مر الزمن . وهنا ينبغى لنا أن نتساءل ، هل يستمد البركان طفوح اللافا من أفران صهير متباينة تحتوى على تلك الأنواع المختلفة من اللافا ؟ إن الاعتقاد السائد هو أن البركان يستمد طفوحه من فرن صهير واحد يحتوى على مواد متجانسة فى الأصل ويقع تحت البركان ، وأنه قد حدثت سلسلة من التغيرات الداخلية فى فرن الصهير أدت إلى تباين أنواع اللافا التى يغذى بها البركان ، وتعرف هذه العمليات التى يتم بواسطتها انفصال الصهير إلى أنواع بعمليات تصنيف أو تمايز الصهير Magmatic Differentiation ، وإلى عمليات التمايز هذه يعزى أيضاً التباين فى أنواع الصخور والقصبات الصخرية والسدود الرأسية والأفقية . وهناك عمليات معقدة يتم بواسطتها تمايز كتل الصهير فى داخل فرن الصهير لا مجال لشرحها هنا .

وعلى الرغم من أن عمليات تمايز الصهير تساعد فى تفسير التباين فى نوع اللافا التى تنبثق من بركان معين ، إلا أنها لا تفسر نشأة الصهير الأصلى المتجانس فى تركيبه ، وهو الصهير الذى اشتقت منه أنواع الصهير الأخرى المتباينة . ويعتقد الباحثون أن الصهير الأصلى يتركب فى كل مكان من جوف قشرة الأرض من المواد البازلتية ، ويستشهدون على

ذلك بطفوح اللافا البازلتية التى تغطى مساحات هائلة من سطح الأرض ، والتى انبثقت على فترات خلال الأزمنة والعصور الچيولوچية الطويلة . وهذا يدل على وجود مصدر وفير من الصهير البازلتى فى الأعماق يعتقد أنه يمتد فى هيئة طبقة أو غلاف بازلتى مرن فى كل مكان من الأرض أسفل القشرة السطحية .

كيف يتدفق الصهير إلى سطح الأرض

يتفق توزيع سلاسل البراكين ومناطق الزلازل مع نطاقات الحركة والاضطراب فى قشرة الأرض كما رأينا وسنرى فيما بعد .

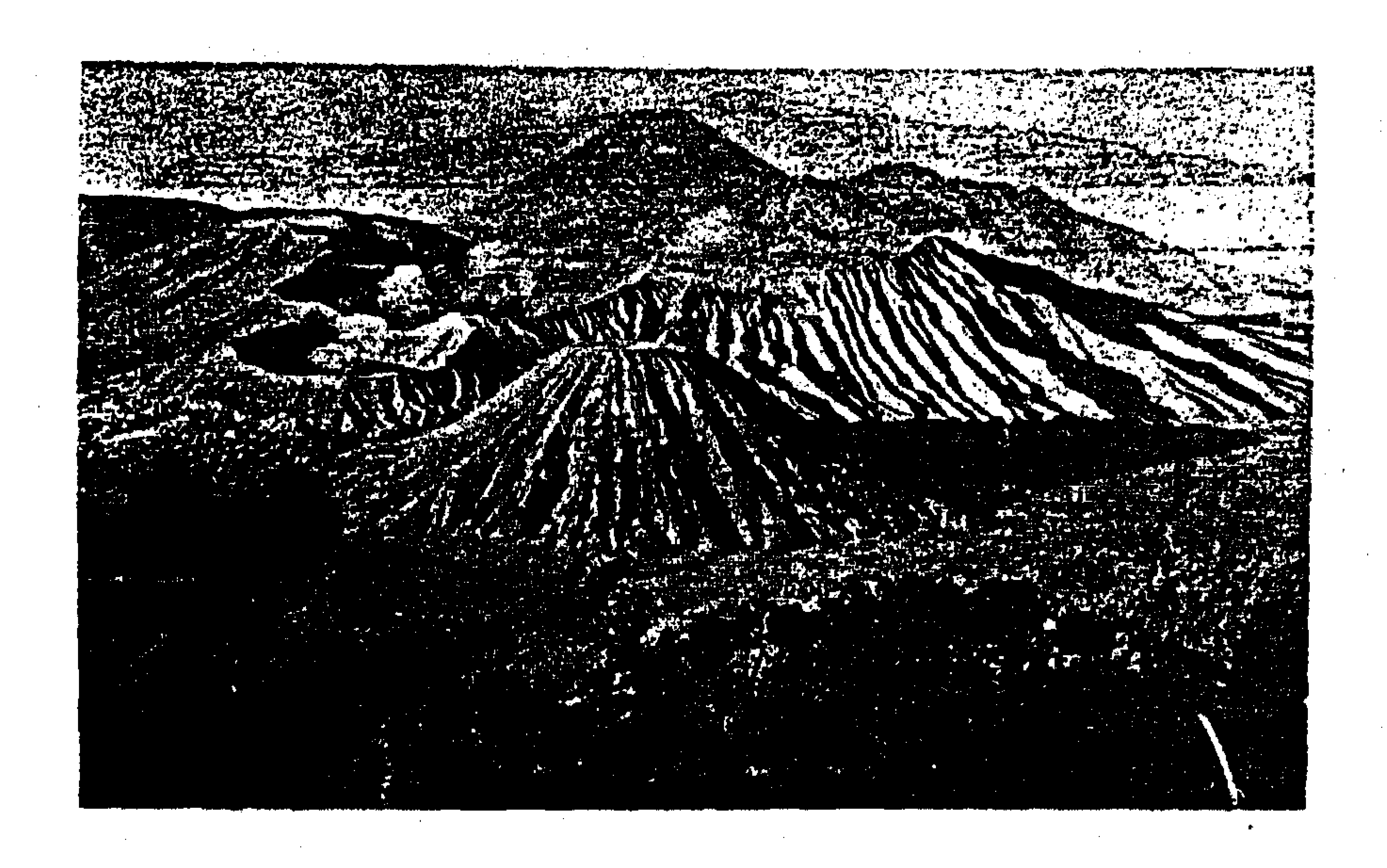
وهناك مثالان عمليان يذكران منذ عهد بعيد لتوضيح كيفية خروج الصهير وتدفقه على سطح الأرض . فقد أشار داتون Dutton عام ١٨٨٠ أن انبثاق الصهير يشبه إلى حد كبير ما يحدث عندما تفتح فجأة زجاجة من « الشمبانيا » الدافقة . وعلى هذا فإن طاقة الغازات المحتسبة تعتبر القوة الرئيسية لتفجير البراكين . ويبدو أن هذا التفسير ما يزال أفضل تفسير للثورانات البركانية التى تغذيها أفران صهير ضحلة .

أما المثال الثانى فيختص بما يحدث فى بحيرة جليدية حينما يتشقق الجليد ، فتنبثق المياه من تحت الجليد خلال الشقوق وتفيض على سطح الجليد ، نتيجة لثقل الجليد وضغطه على المياه التى توجد أسفله . وقياساً على هذا فإن ثقل قشرة الأرض السطحية يضغط على كتل الصهير أسفلها فتنبثق خلال الكسور والشقوق إلى سطح الأرض . ويبدو هذا التفسير مناسباً للطفوح البركانية البازلتية من النمط الذى أعطينا له مثالاً ببراكين جزر هاواى التى تستمد مواردها من اللافا من الطبقة البازلتية المرنة التى توجد أسفل القشرة الصخرية السطحية ، كما يبدو ملائماً أيضاً لتفسير الطفوح البازلتية الواسعة النطاق .

أشكال البراكين والفوهات :

١ - براكين الحطام الصخرى Pyroclastic Cones :

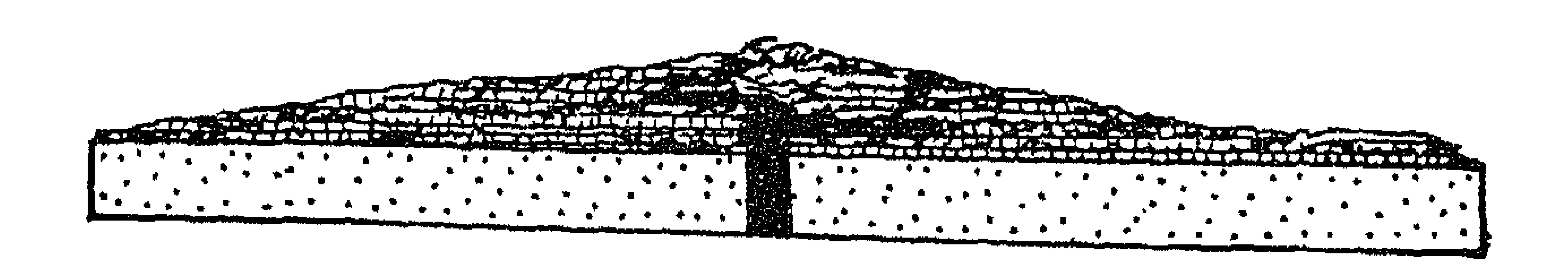
يختلف شكل المخروط البركانى باختلاف المواد التى يتركب منها . فإذا كان المخروط يتركب كلية من الحطام الصخرى فإننا نجده مرتفعاً شديد الإنحدار بالنسبة للمساحة التى تشغلها قاعدته . وهنا نجد أن درجة الإنحدار تبلغ نحو ٣٠° وقد تصل أحياناً إلى نحو ٤٠° قبل أن تأخذ مواد الحطام الصخرى فى الانزلاق على المنحدرات . وتنشأ هذه الأشكال عادة نتيجة لإنفجارات بركانية . وقد يتركب المخروط كلية من الجمرات ويعرف حينئذ « بمخروط الجمرات » . ومثل هذه الأشكال عادة صغيرة الحجم لا يتعدى ارتفاعها ٢٠٠ متر (شكل ١٣٢) .



شكل (١٣٢) : مجموعة من مخروطات الجمرات النشطة فى جزيرة جاوة باندونيسيا .

٢ - البراكين الهضبية Shield Volcanoes :

وقد نشأت نتيجة لخروج اللافا وتراكمها حول مخرج أو فوهة رئيسية . ولهذا تبدو قليلة الارتفاع بالنسبة للمساحة الكبيرة التى تشغلها قواعدها .وتبدو قممها أشبه بهضاب محدبة تحدُّباً هيناً ، ومن هنا جاءت تسميتها بالبراكين الهضبية (شكل ١١٩) . وقد نشأت هذه البراكين من تدفق مصهورات اللافا الشديدة الحرارة والعظيمة السيولة والتى انتشرت فرق مساحات واسعة فى شكل أشرطة أو طبقات رقيقة تكاد تكون أفقية . وتتمثل هذه البراكين الهضبية أحسن تمثيل فى براكين جزر هاواى . فبركان مونالوا الذى يبلغ ارتفاعه أكثر من ٤١٠٠ متر يبدو أشبه بقبة فسيحة تنحدر انحداراً سهلاً هيناً ، إذ يبلغ انحدارها عند القمة نحو ١٠° ويتناقص تدريجيباً إلى أن يصل إلى نحو درجتين عند القاعدة .



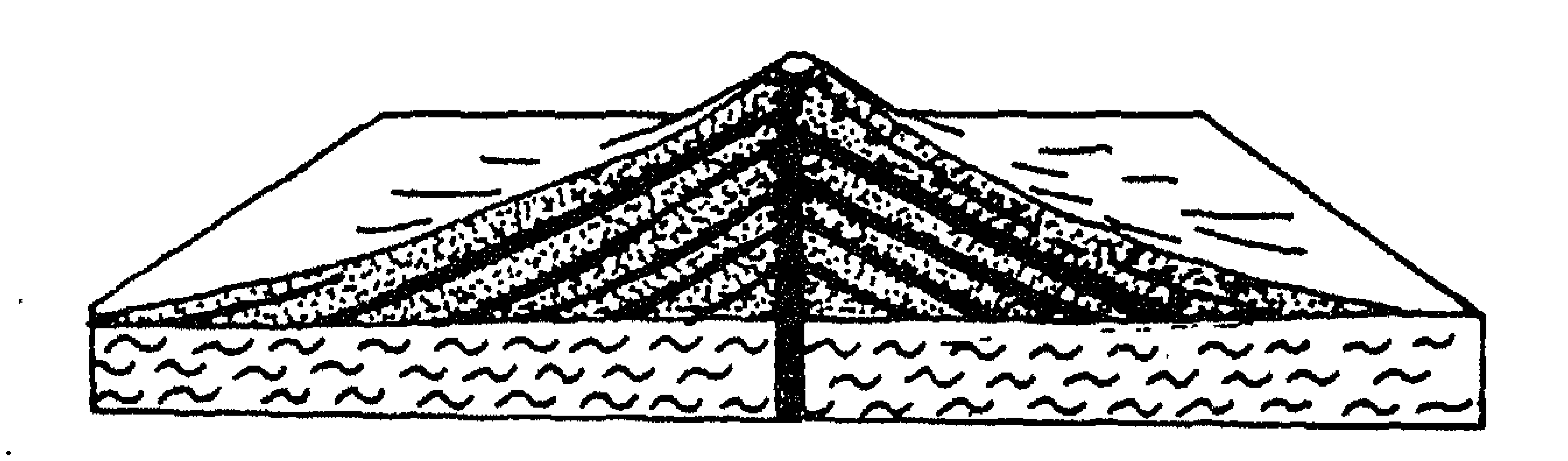
شكل (١٣٣) : قطاع فى بركان هضبى عنق البركان والسدود الرأسية والأفقية مظللة باللون الأسود .

٣ - البراكين الطباقية Strato Volcanoes :

والبركان الطباقى نوع شائع الوجود ، وهو فى شكله وسط بين النمطين السابقين ، وتتركب مخروطات هذه البراكين من مواد الحطام الصخرى التى تتراكم حول الفوهة نتيجة النشاط البركانى الانفجارى ، كما تتركب أيضاً من تدفقات اللافا التى يخرجها البركان حين يهدأ ثورانه.

وتُكوّن اللوافظ التى تخرج من البركان أثناء الانفجارات المتتابعة طبقات بعضها فوق بعض ، ويتألف قسم منها من مواد خشنة وقسم آخر من مواد دقيقة ، وبين هذا وذاك تتداخل اللافا فى هيئة أشرطة قليلة السمك . ومن هذا ينشأ نوع من الطباقية فى تركيب المخروط ، بحيث تميل الطبقات من قمة المخروط نحو حضيضه (شكل ١٢٠) . ولا تلبث مواد الطبقات أن تندمج وتلتحم ببعضها مكونة لصخور البريشيا البركانية التى تتألف من حطام صخرى حاد الحواف ، ولصخور التوفا البركانية التى تتركب من التكوينات الدقيقة كالرمال والغبار البركانى . وقد تفيض اللافا السائلة بعد ذلك لتغطى تكوينات المخروط ، وحين تبرد وتتصلب تكون قشرة تحمى مواد المخروط من تأثير عوامل التعرية . وبسبب هذه الطباقية الواضحة الناشئة من تعاقب تراكم طبقات من التوفا وأخرى من البريشيا ومن اللافا ، يسمى المخروط البركانى الذى يتميز بها بالمخروط الطباقى .

وتتدفق اللافا عادة من خلال شقوق فى جوانب البركان ، وهى حين تتصلب تكون سدوداً صخرية تعمل كدعائم تقوى بنيان المخروط البركانى.



شكل (١٣٤) : بركان طباقى ، قطاع فى بركان مايون . يوضح القطاع التركيب الطباقى الداخلى الذى يميل من العنق البركانى نحو القاعدة . ويشاهد التعاقب بين طبقات اللافا وطبقات الحطام الصخرى .

ويبدو المخروط البركانى الطباقى مقعراً تجاه قمته ، ومنها ينحدر انحداراً شديداً نوعاً ، ويصبح الانحدار سهلاً تجاه قاعدته ، ويمثل هذا الشكل من البراكين بركان مايون Mayon أكثر براكين جزر الفيليبين نشاطاً فى الوقت الحاضر . كما نجد له أمثلة عديدة أخرى فى الولايات المتحدة فى مرتفعات كاسكيد Cascade ومنها مخروط شاستا Shasta ومخروط هود Hood ومخروط أدمز Adams وغيرها .

٤ - البراكين المركبة Compound Volcanos :

تمثل الأشكال الثلاثة السابقة أنماطاً من البراكين بسيطة التركيب . وهناك العديد من البراكين المركبة المعقدة فى تكوينها . ويعتبر بركان إتنا Etna فى جزيرة صقلية مثالاً لنمط البراكين المركبة الكثيرة . فالكتلة الرئيسية من جرمه الضخم الذى يرتفع فوق سطح البحر بنحو ٢٣٠٠ متر تمثل بركاناً هضبياً . ويحيط بالفوهة الرئيسية عند قمة البركان مخروط بيروكلاستى يتكون من كتل صخرية كبيرة حادة الحواف انبثقت من الفوهة الرئيسية ، ويبلغ ارتفاع هذا المخروط نحو ٣٠٠ متر ، وهو صغير ضئيل بالنسبة لحجم بركان إتنا الضخم ، وهذا المخروط مهم فى حد ذاته لأنه يدل على أن البركان قد غير من طبيعة انفجاراته .

٥ - كالديرا Caldera :

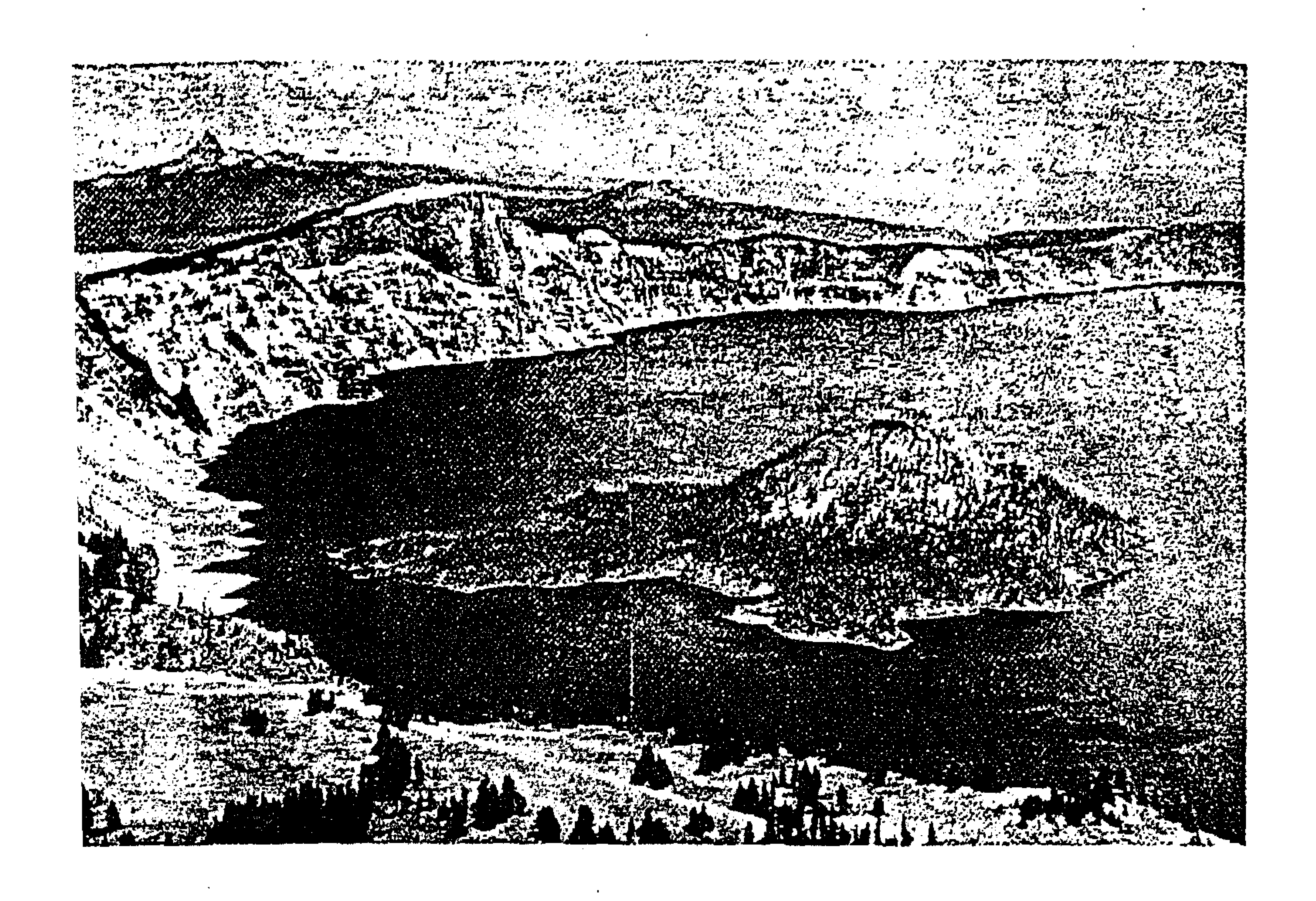
كالديرا كلمة اسبانية معناها الدست أو الوعاء الكبير Caldron ، وهى تستخدم للتعبير عن الفوهات البركانية الضخمة التى تبدو فى شكل أحواض واسعة ضحلة فى قمم البراكين . وقد اتخذ هذا الاسم من حفرة لا كالديرا La Caldera فى جزر كاناريا التى يبلغ قطرها فى أوسع جهاتها نحو ٦ كيلو متر ، ويتراوح عمقها بين ٩٠٠ متر و ١٦٥٠ متراً . ويبدو الجبل الذى تشغل قمته تلك الحفرة من بعيد فى شكل مخروط مقطع الجوانب مجدوع القمة .

وتشغل أحواض الكالديرا عديداً من فوهات براكين العالم ، وقد

تكون بعضها نتيجة لانفجارات بركانية عملاقة استطاعت تدمير قمم المخروطات البركانية القديمة فنشأت مكانها أحواض الكالديرا . ومن أمثلة تلك الانفجارات الانفجار العظيم الذى حدث فى بركان تامبورو Tamboro فى عام ١٨١٥ ، الذى استطاع أن يطيح بقسم كبير من قمة المخروط القديم وكون كالديرا يقرب قطرها من ٦ كيلو مترات . وقد تطاير فى الجو نتيجة لهذا الانفجار نحو ٥٦ كيلو متر مكعب من المواد التى تساقطت بعد ذلك فوق مساحة قدرت بنحو ١٦٠٠٠٠٠ كيلو متر مربع .

ويبدو أن معظم الكالديرات لا تتكون نتيجة للانفجارات البركانية وحسب وإنما تنْشأ أيضاً بسبب تداعى وتدهور الأجزاء العليا من البراكين، وتكون بقايا المخروط الممزق حواف الكالديرا . ومثلها الكالديرا التى تشغلها بحيرة فى جنوب ولاية أوريجون بالولايات المتحدة . والتى تقع فوق قمة جبل بركانى فى مرتفعات كاسكيد ، ويبلغ طولها نحو عشرة كيلو مترات وعرضها حوالى ستة كيلو مترات ، أما عمقها فيصل إلى حوالى ٦٠٠ متر ، وتحيط بها حافات شديدة الانحدار يتراوح ارتفاعها بين ١٥٠ م ـ ٦٠٠ متر . وتقع فى البحيرة جزيرة صغيرة تسمى ويزراد Wizard تمثل قمة بركان صغير انفجر من قاع الكالديرا فى فترة لاحقة لتكوينها . شكل (١٣٥) .

ويعتقد أن الانفجارات البركانية قد شاركت فى تكوين هذه الكالديرا فالبركان القديم الذى تمثل قمته الآن تلك الكالديرا ويعرف باسم مونت مازاما Mount Mazama كان فى حجم زميله مونت شاستا ، وقد غطاه الجليد بسمك عظيم أثناء العصر الجليدى ، ثم حدثت بعد ذلك انفجارات بركانية تداعى بسببها جزء من قمة البركان مكوناً لقسم من الكالديرا الحالية . وقد حدثت هذه الانفجارات منذ بضعة آلاف من السنين ، أثناءها تحطمت أجزاء أخرى من القمة بتأثير عوامل التعرية ، ونشأ من هذا وذاك حوض الكالديرا الذى تشغله البحيرة الحالية .



شكل (١٣٥) : كالديرا تشغلها بحيرة الفوهة فى ولاية أوريجون . وتظهر بالبحيرة جزيرة بيزراد ، وهى تمثل قمة بركان نشأ بعد تداعى مخروط البركان الرئيسى .

البراكين الحديثة :

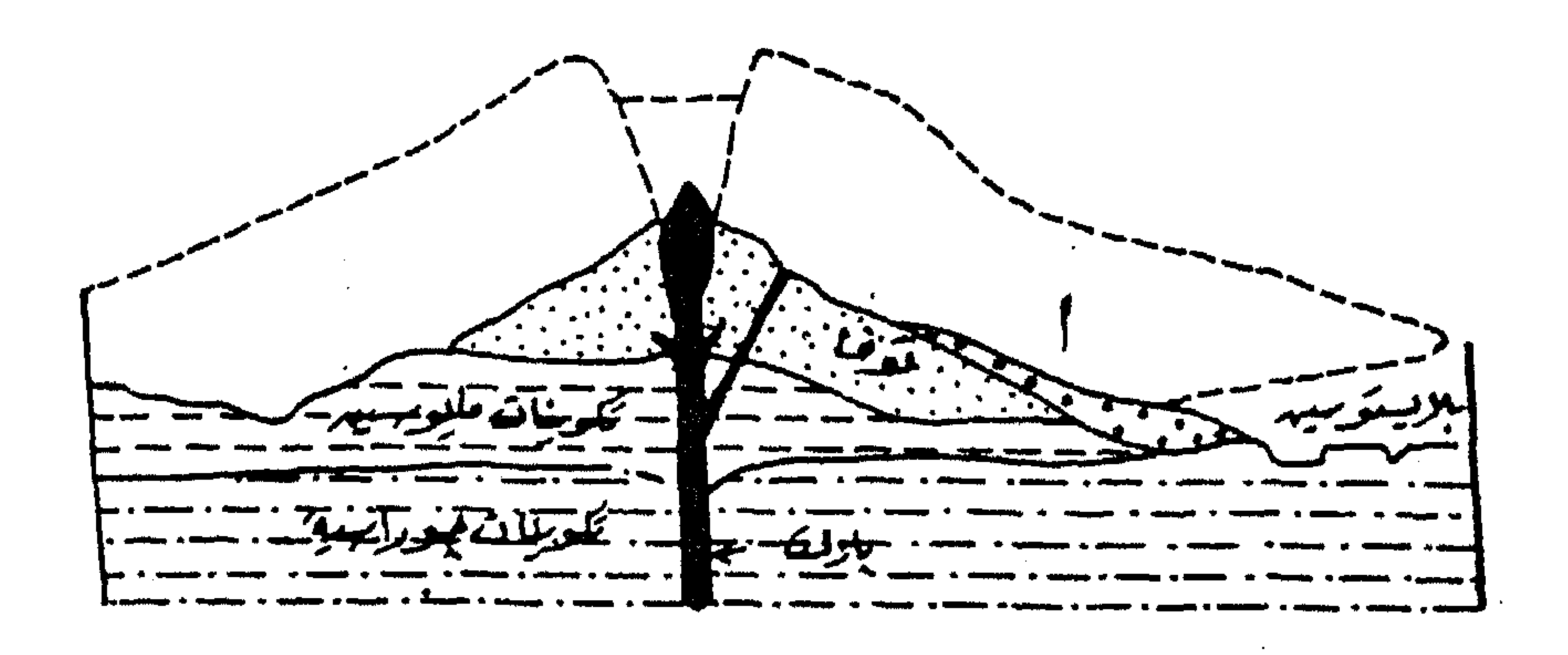
لا تحوى سجلات المعرفة الإنسانية ذكر كثير من البراكين الحديثة التى نشأت منذ ميلاد المسيح عليه السلام . وما يزال كثير من البراكين التى تأكد مولدها أثناء التاريخ الميلادى نشيطاً . ويعتبر بركان فيزوف الذى نشأ عام ٧٩ م مثالاً لتلك البراكين التاريخية ، ولكنه يقع فى موضع بركان قديم هو بركان سوما Somma. وقد ظهر بركان جورولو Jorullo فى المكسيك فى ٢٨ سبتمبر من عام ١٧٦٩ وبرز فى وسط سهل زراعى . وهو يمثل أعلا أربعة مخروطات نشأت نتيجة لثورانات انفجارية فى ذلك السهل ، قذفت حطاماً صخرياً وسحباً بيلية ، كما تدفقت سيول من اللافا، ويبلغ ارتفاعه نحو ٤٠٠ متر فوق مستوى الأرض المحيطة به .

أمـا بركـان إيزالكو Iazlco الذى ولد فى عـام ١٧٧٠ ، فـقـد اسـتـمـر نشيطاً ـ وما يزال ـ إلى أن بنى مـخـروطاً يبلـغ ارتفاعه نحـو ٨٠٠ مـتـر فوق مستوى قاعـدته . وعلى الرغم من قصر عمره فقد أخرج مـن اللافا كميات كـبـيـرة تفـوق مـا أخـرجه مـنهـا أى بـركـان آخـر فـى أمريـكا الـوسطى ، وهـو يعـتـبـر من أنشـط براكين الـعـالـم . ومن أحـدث البـراكين بركـان شـيـنيـيـرا Chinyera فى جـزيـرة تيـنيريف Teneriffe إحدى جزر كـاناريا فى المحيط الأطلسى ، فـقـد ظهر فى الوجـود عـام ١٩٠٩ ، وهـو البـركـان المعـروف بأنه الـوحيد الذى شاهدت العين مولده.

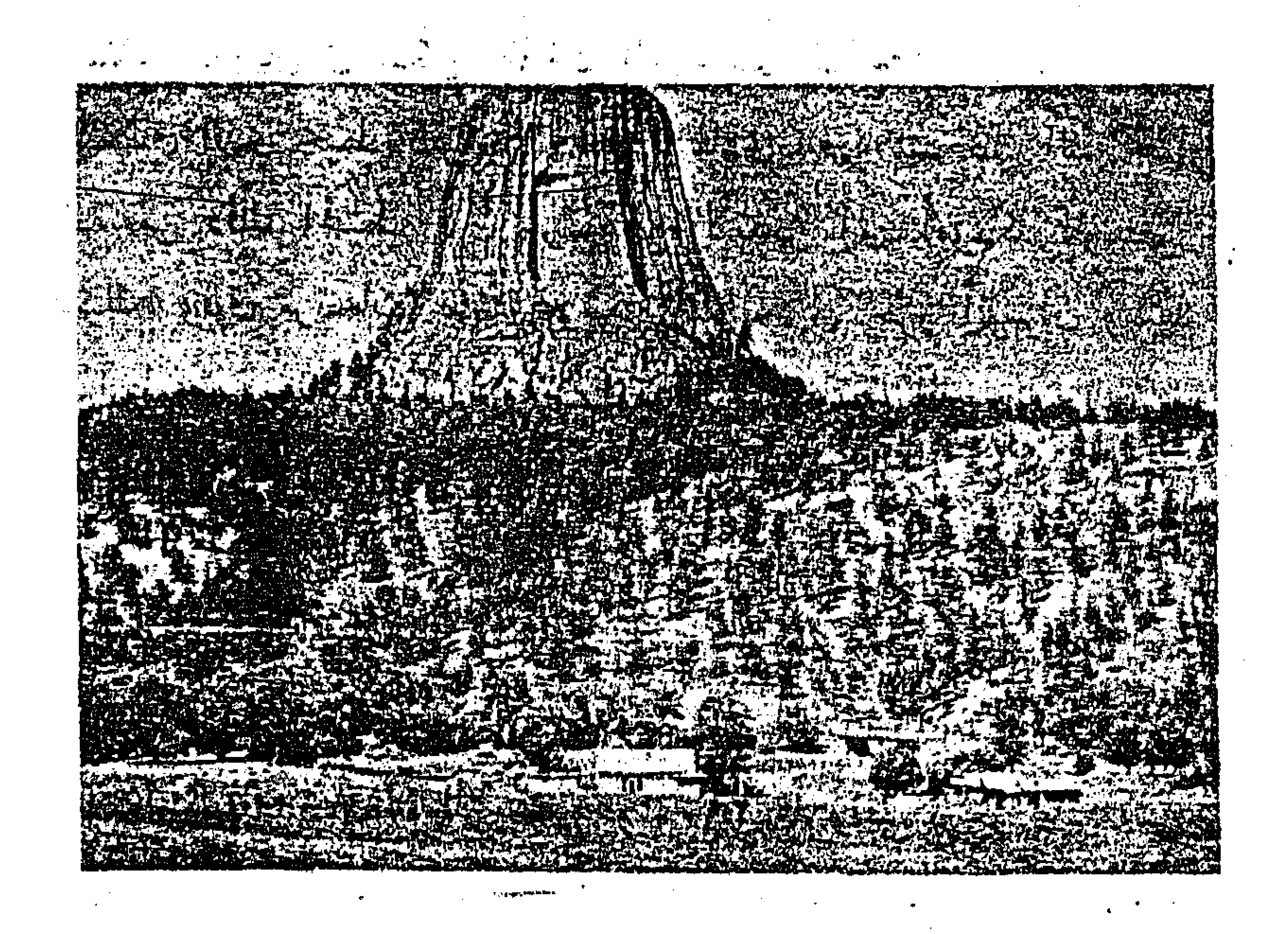
هذا وينبـغى أن نشير إلى أن كل هـذه البراكين قد نشـأت فى مناطق بركانيـة ، ولم يتكون أحد منها فى منطقة لـم يصـبها النشـاط البـركـانى من قبل .

تعرية المخروطات البركانية :

يتـعـرض الـبـركـان بعـد ظهوره علـى سطح الأرض للتجـوية وعـوامل التعرية التى تعمل على تآكله . ويتوقف ارتفاع المخروط ومظهره العام على التـوازن بين قوى التـعـرية الهدامـة والقـوى البركـانية البـناءة . وتتمـثل فى البراكين ـ حتى الـنشـيط النامى منها ـ آثار فعل التـعرية من خوانق وأودية عميقـة وحفـر .. فمـا يكاد البركـان يظهر فى الـوجـود حتى تتناوله عـوامل التـعـرية بالنحت والهدم ، فـتبدأ باكـتسـاح التوفـا والبـريشـيـا ، ثم بنحت السـدود الصـخـرية التى تظهـر من تحـتـهـا . وهـكذا تفـعل عـوامل التـعـرية بالمخـروط البـركـانى حـتى تزيله وتصل إلى الأسـاس الصـخـرى الذى كـان يرتكز عليه ، ولا يبقى منه سـوى العنق البـركانى ـ نظراً لشـدة مقـاومته للتـعـرية ـ بارزاً كنصب تذكـارى للبـركان الذى اندثـر . وقد تزيل التـعـرية العنق أيضـاً وحيـنئذ تطمس مـعـالم البركـان نهـائياً ، ولا يبـقى منه شـاهـد لـوجوده فى يوما ما .



شكل (١٣٦) : مخلفات مخروط بركانى فى منطقة هيجاو Hegau فى جنوب ألمانيا . الخط المتقطع يوضح المخروط البركانى الأصلى قبل أن تكتسح التعرية قسماً عظيماً منه .



شكل (١٣٧) : برج الشيطان Devil's Tower فى ولاية « وايومينج » بالولايات المتحدة الأمريكية . وهو عنق بركانى يتركب من البازلت العمدانى البناء . وقد أزالت التعرية تكوينات المخروط البركانى .

وتتمثل مراحل التآكل هذه فى كثير من براكين العالم . فهناك من المخروطات ما لم يتأثر بعد تأثراً بيناً بالتعرية ، ومنها ما تهدم وتداعى ولم يبق منه سوى العنق أو بعضه . (شكل ١٣٦ وشكل ١٣٧) .

التوزيع الجغرافى للبراكين :

يبلغ عدد البراكين النشيطة فى الوقت الحاضر حوالى ٤٧٦ بركاناً ، أما البراكين الأخرى بين خامد Dormant وساكن Extinct فيقدر عددها بنحو أربعة آلاف . ونقصد بالبركان الخامد ، ذلك الذى توقف نشاطه منذ زمن بعيد فتآكل ونحت إلى حد كبير ، أما البركان الساكن فهو الذى توقف نشاطه منذ فترة قصيرة فلم تؤثر فيه عوامل التعرية إلا قليلاً .

وتنتشر البراكين فى شكل نطاقات طويلة على سطح الأرض ، أظهرها ذلك النطاق الذى يحيط بسواحل المحيط الهادى . فهو يمتد على السواحل الشرقية من ذلك المحيط فوق مرتفعات الأنديز إلى أمريكا الوسطى والمكسيك ، وفوق مرتفعات غربى أمريكا الشمالية إلى جزر ألوشيان ومنها إلى سواحل شرقى قارة آسيا عبر شبه جزيرة كمشاتكا إلى جزر اليابان وجزر الفيليبين ، ثم إلى جزر اندونيسيا ونيوزيلندا (شكل ١٠٧) . ويجد الكثير من البراكين فى المحيط الهادى نفسه ، منها الساكن والخامد ومنها ما لا يزال نشيطاً . وتمتد البراكين هنا على طول خطوط مستقيمة فوق حافات بحرية غائصة ترتكز على قاع المحيط العميق . ومن أمثلة تلك الحافات حافة هاواى Hawaiian Ridge التى تمتد نحو ٢٩٠٠ كم والتى تزخر بعديد من البراكين على طول خطوط ، على أنها ـ كقاعدة عامة ـ تنتشر على طول نطاقات الضعف فى قشرة الأرض أو قربها ، حيث توجد الانكسارات والفوالق وسلاسل الالتواءات الحديثة . ومع هذا فقد ينشأ البركان أو مجموعة البراكين فى مكان دون ارتباط بخطوط انكسارات أو محاور التواءات . ومثال ذلك مجموعة براكين « هاى وود » Highwood الساكنة التى تقع فى سهل فسيح فى ولاية مونتانا

بأمريكا الشمالية . فهى لا تنتظم فى شكل أفقى مستقيم ، كما أن الأساس الصخرى الذى ترتكز عليه لا تظهر به كسور أو فوالق ، مما يدل على أن القوى البركانية تكون من الشدة بحيث تستطيع أن تفجر لها مخارج فى قشرة الأرض دون حاجة إلى وجود عيوب وانكسارات . هذا وتخلو قارة استراليا من البراكين ، وإذا ما أخرجنا جزيرة صقلية وجزر ليبارى من نطاق اليابس الأوروبى ، فإننا نجد أن قارة أوروبا لا تحوى من البراكين النشطة سوى بركان فيزوف . وتوجد مجموعة من البراكين فى افريقيا أشهرها كيليمانجارو وارتفاعه ٥٨٦٠ متراً . وفى آسيا يتركز النشاط البركانى فى كمشاتكا ، كما توجد مجموعة من البراكين الساكنة فى منشوريا . وفى مرتفعات القوقاز نجد أن بركانى البورز Elburs وأرارات Ararat كانا نشيطين منذ عهد قريب . وقد اكتشف بركانان عظيمان فى قارة انتاركتيكا .

وعلى هذا نجد مناطق البراكين الرئيسية تتركز فى الحلقة البركانية حول المحيط الهادى ، وفى نطاق البحر المتوسط ، وفى الجانب الشرقى من المحيط الأطلسى ، وفى النطاق الشرقى من قارة افريقيا .

البراكين الطينية Mud Volcanoes :

البراكين الطينية أو المخروطات الطينية ما هى إلا أشباه براكين ظاهرية النشأة exogenous origin . وتبدو فى مظهرها الخارجى على هيئة براكين صغيرة ينتشر وجودها فى حقول زيت البترول . وهناك أمثلة عديدة لها فى شبه جزيرة تامان Taman وكرش Kerch وفى مقاطعة أذربيجان بالاتحاد الروسي ، وفى رومانيا والصين وإيطاليا وغيرها .

وتوجد موزعة فوق عيوب فى الطبقات السطحية من قشرة الأرض فى شكل مخروطات تعلوها فوهات فوق قممها . وينبثق منها تكوينات طينية وغازات بترولية مشتعلة على فترات متقطعة . وتتراوح أحجامها

بين بضعة أمتار إلى مئات من الأمتار . وتتركب مخروطات هذه البراكين من خطام صخرى اندمج بواسطة المواد الطينية كمواد لاحمة .

وتختلط التكوينات الطينية بمياه تحتوى على أملاح كلوريد الصوديوم وكبريتات الصوديوم واليود والبرومين والبورون . ويفيض هذا الخليط الحار بهدوء من خلال الفوهة ، ولكن من وقت لآخر يقذف البركان بكمية كبيرة من غاز حامض الكربونيك المشتعل . وقد يرتفع عمود من اللهيب عدة عشرات من الأمتار في الجو .

البراكين والنشاط البشرى :

من الغريب أن الإنسان لم يعزف عن السكنى بجوار البراكين حتى يكون بمأمن من أخطارها ، إذ نجده يقطن بالقرب منها بل وعلى منحدراتها أيضاً ؛ فبركان فيزوف تحيط به القرى والمدن وتغطيه حدائق الفاكهة وبساتين الكروم ، وجميعها تنتشر على جوانبه حتى قرب قمته. . وتقوم الزراعة أيضاً على منحدرات بركان « إتنا » فى جزيرة صقلية حتى ارتفاع ٤٥٠ متراً ، حيث تسود بساتين البرتقال والليمون والكروم فى تربة تتكون من البازلت الأسود ، الذى تدفّق فوق المنطقة أثناء العصور التاريخية . وتغطى حقول الكروم مخروط مونت روسو Monte Rosso إلى منتصف ارتفاعه الذى يبلغ نحو ٢١٠٠ متراً ، وهو أكبر مخروط يتركب من الأحجار الصغيرة (جمرات) فى بركان « إتنا » وقد نشأ فى عام ١٦٦٩ أثر انفجار مدمر يعتبر أعظم انفجارات بركان إتنا قوة وتدميراً . وهذه البراكين لا ترحم ، إذ تثور من وقت لآخر فتدمر قرية أو أخرى . ويمكن للسائر على طول الطريق الرئيسى فوق السفوح السفلى من بركان « إتنا » وعند نهاية تدفقات اللافا التى انبثقت فى عام ١٩٢٩ أن يرى بقايا وأطلال البيوب الحجرية التى جرفتها ودمرتها سيول اللافا المتدفقة . وهى شواهد أبدية تشير إلى الخطر الدائم المحدق بالمنطقة .

وتشتهر جزيرة جاوة ببراكينها الثائرة والنشطة ، وبراكينها تفوق فى الواقع كل براكين العالم فى كمية الطفوح واللوافظ التى انبثقت منها منذ عام ١٥٠٠ م ، ومع هذا نجد الجزيرة تغص بالسكان ، فهى أكثف جهات العالم الزراعية سكاناً بالنسبة لمساحتها ، ويسكنها أكثر من ٨٠ مليون نفس . وقد أنشئت بها مصلحة للبراكين وظيفتها التنبؤ بحدوث الانفجارات البركانية وتحذير السكان قبل ثورانات البراكين مما يقلل من أخطار وقوعها . ولقد ثار بالجزيرة بركان كيلويت Kiluit فى عام ١٩١٩ ، بعد فترة سكون دامت ١٨ سنة . وأثناء فترة سكونه تكونت بحيرة ساخنة المياه فى فوهته ، ما لبثت مياهها الحارة أن فاضت وتدفقت خلال الأودية فقتلت نحو ٥٥٠٠ شخص ، ولهذا فقد أنشئ نفق يصل إلى الفوهة لتصريف مياه البحيرة حتى لا تتكرر الكارثة مرة أخرى .

ويسبق الانفجارات البركانية أحياناً حدوث زلازل بركانية، كما تزداد درجة حرارة المداخن Fomaroles ، ولهذا تزوّد المناطق المشهورة بكثرة نشاطها البركانى بآلات حساسة لقياس وتسجيل الزلازل ، كما تقاس فيها درجة حرارة المداخن بصورة مستمرة ومنتظمة . فحين تصل درجة حرارة المداخن من حول ميرابى Merapi وهو بركان نشيط إلى ٦٠٠° م ، فإن ذلك يُعدّ إنذاراً بخطر حدوث انفجار .

ومن بين محاولات الإنسان لدرء أخطار النشاط البركانى ما قام به سلاح الطيران الأمريكى من إلقاء القنابل فى مجرى لافا كان يتدفق منبثقاً من بركان « مونالوا » على ارتفاع ٢٧٠٠ م بغرض تحويل اللافا عن مجراها الطبيعى . وكان ذلك فى عام ١٩٣٥ حينما كانت اللافا تتدفق صوب مدينة هيلو Hilo منذرة بتدمير المدينة والميناء الذى يعتبر من حيث أهميته ثانى موانئ جزر هاواى . وقد نجحت المحاولة وحوّل مجرى اللافا ، وسلم الميناء من أخطاره .

ويأمل المشتغلون بالدراسات البركانية فى جزر هاواى وصقلية فى التوصل إلى تصميم سدود تبنى على أساس دراسات ومقاييس دقيقة

لإمكان تحويل مجارى اللافا المتدفقة أو منعها من التدفق والطغيان على الأراضى المعمورة .

ويعتقد بيرى Perret أنه من الممكن التنبؤ بأحوال ثوران بركان أثناء مراحل نشاطه إذا ما درس البركان دراسة دقيقة . فقد استطاع ذلك الباحث أن يتنبأ بمراحل ثوران بركان « بيلى » الذى استمر نشيطاً فى الفترة بين عامى ١٩٢٩ و ١٩٣٢ . فبعد أن استمرت انفجاراته زهاء خمسة أشهر ، انبثقت أثناءها مئات من السحب البيلية ، أكد « بيرى » مرة أخرى أن البركان ، ولو أنه من المحتمل أن يظل نشيطاً فترة طويلة ، فإن نشاطه لن يكون بعد ذلك خطيراً . وقد صدقت نبوءته التى استندت على دراسة عميقة ومعرفة بأسرار النشاط البركانى . فقد استمر طفح البركان بعد ذلك عامين ونصف دون خطورة .

المداخن والينابيع الحارة

المداخن Fomaroles :

يلفظ الكثير من البراكين أبخرة وغازات فى فترات السكون التى تفصل بين الانفجارات والطفح البركانى . ويستمر خروج الغازات والأبخرة بعد أن يتوقف نشاط البركان لفترة طويلة . ولا يقتصر انبثاقها من الفوهة وحسب ، وإنما تخرج أيضاً من خلال شقوق وثقوب فى جوانب البركان وأحياناً فى الأراضى المحيطة به . هذا عدا ما تلفظه كتل الصهير من المواد المتطايرة التى تجد لها مخارج خلال الشقوق والكسور إلى سطح الأرض ، وذلك حينما تصعد هذه الكتل خلال صخور قشرة الأرض ، ولكنها لا تتمكن من الوصول إلى السطح فتبرد وتتصلب تحت القشرة .

ويطلق تعبير مدخنة Fomarole (مشتق من الفعل اللاتينى Fomare ومعناه يدخن) على كسر أو ثقب فى الصخور تخرج منه أبخرة وغازات .(شكل ١٣٨). وتسود نسبة البخار بين الغازات إذ تصل إلى نحو ٩٨ ٪ ومن بين الغازات التى تلفظها المداخن غاز ثانى اكسيد الكربون والكلور والأيدروچين والميثان وغيرها .

الينابيع الحارة Hot Springs :

يكثر وجود الينابيع الحارة بجوار المداخن فى الأقاليم البركانية . وهناك ارتباط وصلة وثيقة بينهما ، إذ تتحول بعض الينابيع الحارة إلى مداخن حينما يحل الفصل الجاف ، ثم تعود سيرتها الأولى حينما يأتى الفصل الرطب . وقد أدى هذا التبادل الفصلى إلى نشوء النظرية التى تقول بأن الينابيع الحارة تستمد مياهها على الخصوص من الماء الباطنى الذى يرشح من السطح ثم يسخن بواسطة بخار الصهير .

وعلى الرغم من وجود العديد من أنماط النافورات والينابيع الحارة التى تختلف فيما بينها تبعاً لدرجة حرارة مياهها ، أو بحسب ما تحتويه



شكل (١٣٨) : مداخن فى فوهة بركان كاتماى بالاسكا .

مياهها من مواد مذابة ، فإن أهمها نوعان : الينابيع الغالية ذات المياه التى تغلى ، ثم الجيزر .

الينابيع الغالية Boiling Spings :

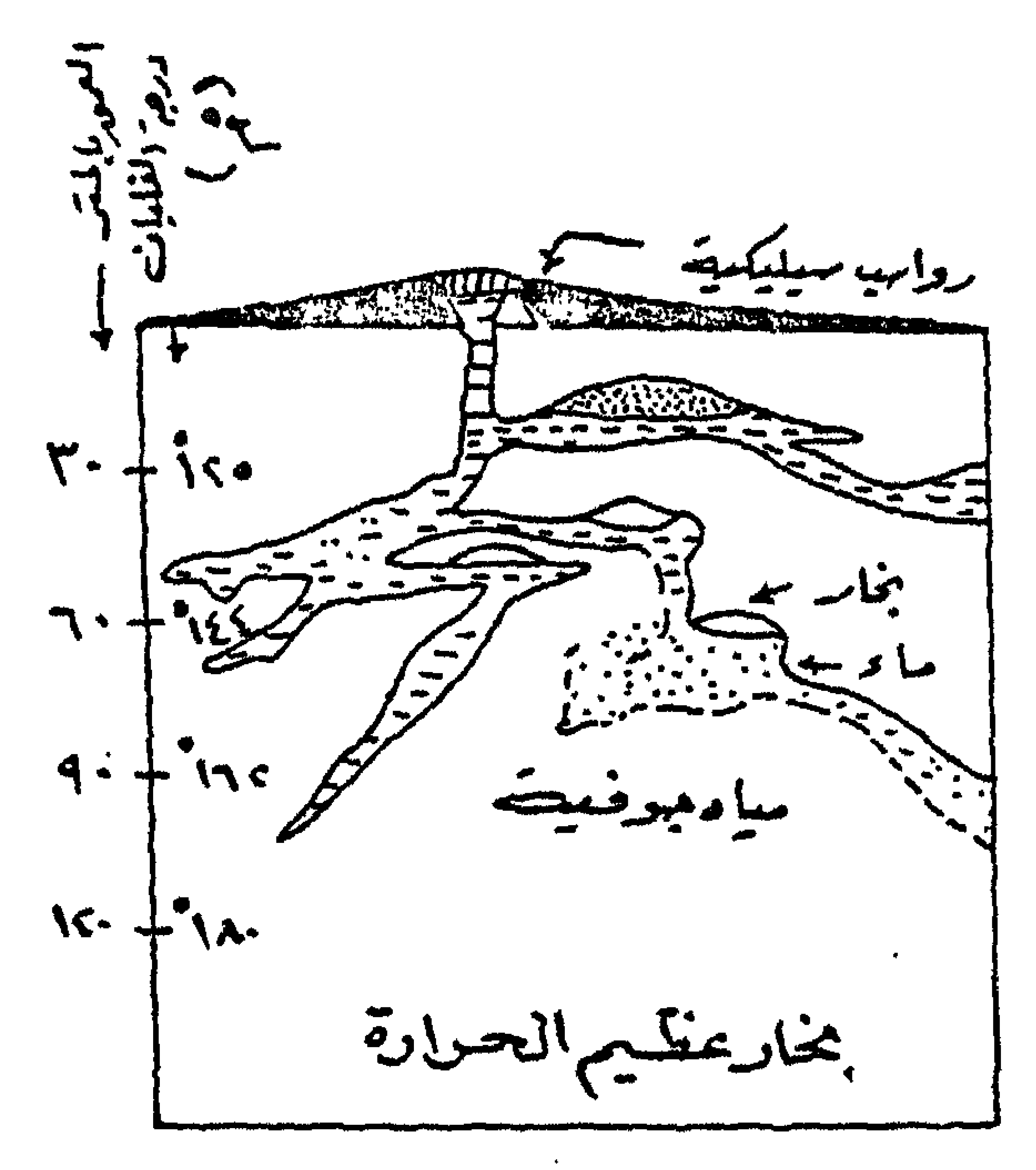
وهى ظاهرة يتميز بها كثير من الأقاليم البركانية . وهى توجد بكثرة فى منطقة لاسين Lassen البركانية وفى منتزه « ييلوستون » Yellowstone وتظهر هناك فى شكل أحواض مملوءة بالمياه بعضها يغلى ويئز فى هدوء أو بشدة واستمرار ، وبعضها الآخر يغلى بشكل انفجارى ، وتتخلل الانفجارات فترات هدوء قصيرة . وتمثل الينابيع التى تغلى بشدة المرحلة الانتقالية إلى « الجيزر » . ويبدو الماء فى الينبوع صافياً رائقاً ذا لون أزرق أو أخضر مادام مورد الينبوع غزيراً كافياً لتعويض الفاقد بالتبخر وزيادة . أما إذا تساوت كمية البخار المنطلقة بسبب الغليان بكمية

المياه المنبثقة إلى الينبوع ، فإن مياهه تتكدر وتصبح حينئذ عكرة بسبب اختلاطها بذرات التكوينات الصخرية المتحللة ، وقد تصبح المياه إذا ما نقص معينها أشبه بكتل من الطين الذى يغلى .

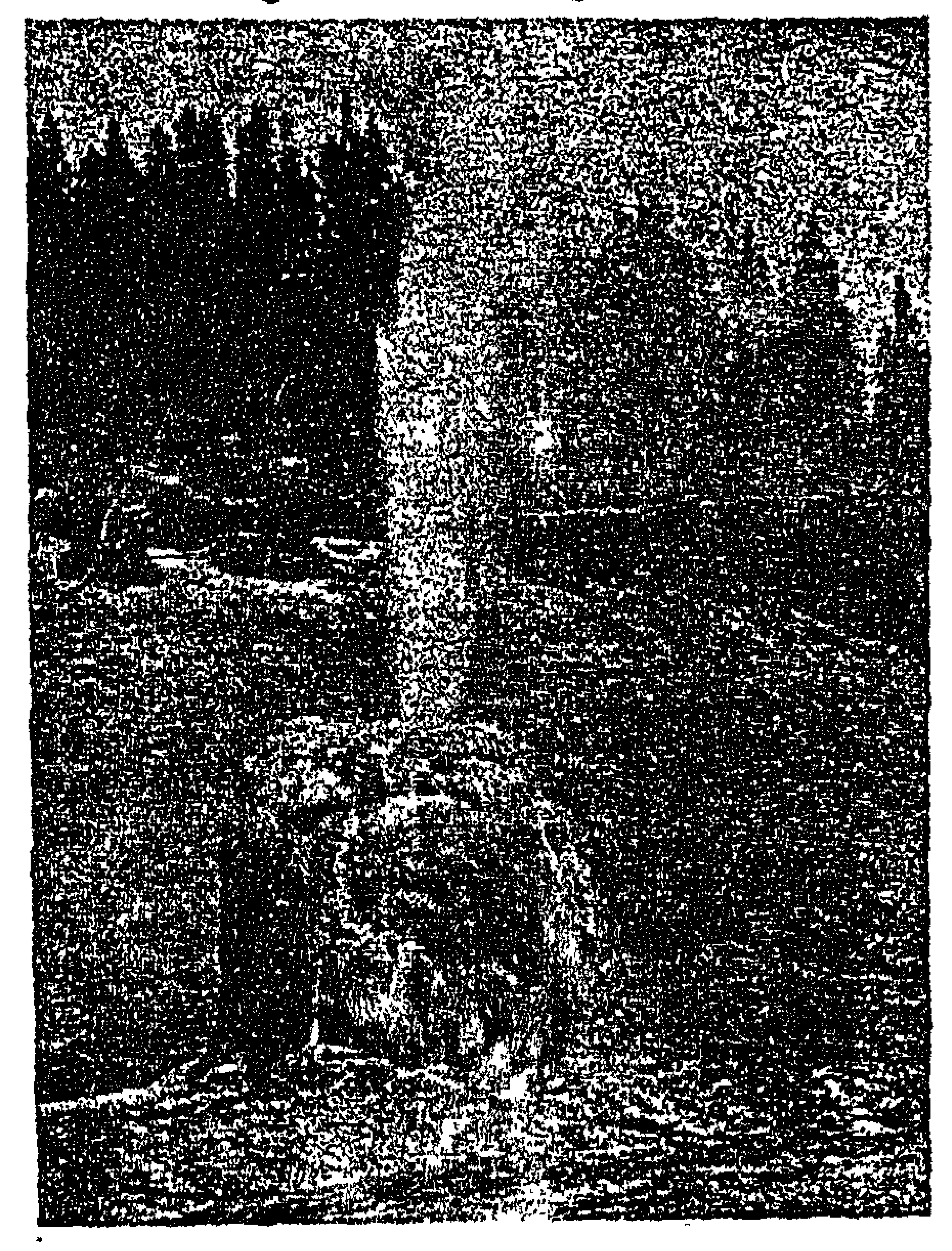
الجيزر Geyser :

وهى عبارة عن نافورة أو فوارة حارة تنفجر على فترات مكونة لأعمدة من الأبخرة والمياه الساخنة . وهى على أنواع عدة ، فبعضها يقذف بعمود مائى لا يتعدى ارتفاعه بضعة ديسيمترات ، وبعضها الآخر يلفظ أعمدة تصل فى ارتفاعها إلى بضع عشرات من الأمتار .

وقد لا يمكث الانفجار فى بعض الجيزر أكثر من بضع ثوان ، بينما قد يستمر الانفجار وخروج الأعمدة المائية الساخنة من بعضها الآخر بضع دقائق أو عدة ساعات . كما أن كمية المياه التى تلفظها قد تكون صغيرة وقد تكون كبيرة تصل إلى بضع مئات من آلاف الجالونات . وقد تنفجر الجيزر فى فترات منتظمة ، ولكن معظمها ينفجر بلا انتظام على فترات تتراوح بين بضع دقائق إلى بضع ساعات ، وقد تمتد الفترات لأكثر إلى أيام وشهور بل بضع سنين . والجيزر ما هى إلا ينابيع حارة من نوع خاص ، وهى ليست شائعة الانتشار ، ويتركز وجودها فى ثلاث مناطق ، وهى جزيرة ايسلندا وجزيرة نيوزيلندا ومنطقة « يلوستون بارك » . وتحيط بالجيزر أحياناً أحواض صغيرة الحجم يبلغ قطرها بضعة ديسمترات أو أمتار . وهى عموماً قليلة العمق وتتركب جوانبها من رواسب سيليكية Siliceous Sinter . وتمتد من قاع الحوض قناة إلى أعماق قشرة الأرض (شكل ١٣٩) . وحول فتحة القناة تترسب المواد السيليكية ، وترتفع فوق سطح الأرض بضعة سنتيمترات أو عدة أمتار ، وتبدو بمثابة امتداد لقناة الجيزر نفسها . (شكل ١٤٠) .



شكل (١٣٩) : قطاع رأسى يوضح الظروف اللازمة لنشاط الجيزر . المساحات المنقطة تمثل تجمعات الأبخره فى كهوف عظيمة الاتساع .



شكل (١٤٠) : مخروط من الرواسب السيليكية لجيزر لون ستار Lone Star بمنتزه ييلوستون .

وأشهر فوارات الـ Yellowstone وهى الجيزر المعروفة باسم Old Faithful ، تنفجر كل ٦٦ دقيقة تقريباً ، وتقذف بعمود من المياه الحارة والأبخرة يتراوح ارتفاعه بين ٣٣ مترا و ٤٨ متراً ، وينبثق منها مع كل انفجار كمية من المياه تتراوح بين ١٠٠٠٠ و ١٢٠٠٠جالون .(شكل ١٤١).



شكل (١٤١) : جيزر (أولد فيثفول) Old Faithful أثناء ثورانها . ييلوستون بارك .

تفسير طبيعة نشاط الجيزر :

يتوقف انبثاق المياه المتقطع من الجيزر على عدة عوامل هى :

١ ـ كمية ودرجة تدفق المياه الباطنية .

٢ ـ مدى توفر الحرارة .

٣ ـ طبيعة قناة الجيزر وصلاتها بالكسور والأنابيب الباطنية .

وبسبب تباين هذه العوامل تختلف الجيزر فى طبيعة نشاطها .

ويعتمد تفسير انفجار الجيزر اعتماداً كلياً على الصلة بين مقدار الضغط الواقع على المياه الباطنية ودرجة غليان الماء . ونحن نعرف أن درجة غليان الماء تحت الضغط الجوى العادى وعند مستوى سطح البحر هى ١٠٠° ، وإذا ما ارتفع الضغط ارتفعت درجة الحرارة التى عندها يغلى الماء ، وإذا ما انخفض الضغط انخفضت درجة غليان الماء . وقياساً على هذا نجد أن درجة الغليان عند قاعدة عمود من الماء ترتفع نتيجة لضغط ثقل عمود الماء فوقها . وكما يظهر من الشكل رقم (١٣٩) نجد أن درجة غليان الماء فى قناة الجيزر ترتفع من السطح تجاه الداخل . فإذا كانت القناة منتظمة وقطرها كبير فإن المياه فى قسمها الأسفل حينما تسخن وتصبح أكثر حرارة من المياه التى فوقها تتصاعد إلى قمة القناة ، وتحل محلها مياه أبرد منها آتية من أعلى القناة . وبذلك تنشأ تيارات مائية صاعدة وأخرى هابطة تعمل على خلط المياه ببعضها إلى أن تصبح جميعاً فى درجة حرارة واحدة تقريباً فى كل مستويات القناة ، وبذلك ينشأ الينبوع الذى تغلى مياهه .

أما إذا كانت القناة ضيقة كثيرة الالتواء والتثنى فإن عملية توزيع الحرارة عن طريق تحركات المياه صعوداً وهبوطاً تتوقف أو تكاد ، ولهذا تصل المياه إلى درجة الغليان فى المستويات المائية العميقة عند درجات حرارة متزايدة تناسب الضغوط الكبيرة من فوقها .

وإذا ما نظرنا إلى الشكل رقم (١٣٩) نجد أن حرارة المياه تزداد عند أعماق متباينة بواسطة تكاثف البخار الذى يتسرب إلى أنابيب الجيزر ، ويستمر ازدياد درجة حرارة المياه التى يولدها تكاثف البخار إلى أن يصل إلى درجة الغليان التى تناسب العمق والضغط ، حينئذ يتوقف البخار عن التكاثف ، ويأخذ فى التجمع والاحتشاد إلى أن يصل إلى حجم مناسب يستطيع معه بقوة تمدده أن يرفع عمود الماء فى قناة الجيزر بدرجة تكفى

لدفع بعض المياه من الفوهة ، أو قد تكفى ، كما هى الحال فى فوارة Old Faithful ، لأن تدفع بعمود مائى يبلغ ارتفاعه بين ٣ م ـ ٨ م ، ويعد هذا إيذاناً بمقدم الانفجار . مثل هذا الفوران الابتدائى من شأنه أن ينقص من طول عمود الماء فى القناة ، وبالتالى يخف الضغط الواقع على المستويات السفلى من الماء ، فتصبح حرارة مياهها فوق درجة الغليان فتتحول فجأة إلى بخار يدفع بعمود الماء الساخن والأبخرة بشدة وضجيج خارج فوهة القناة إلى الجو .

هذا وتتصل قناة الجيزر بأنابيب كبيرة تستمد مياهها من عدة مخازن تتجمع فيها المياه والأبخرة ، وهذا يفسر لنا خروج كميات كبيرة من المياه والأبخرة من بعض فوهات الجيزر التى تبدو أعظم بكثير من طاقة قناة الجيزر وأنابيبها .

ويبدو أن مياه النافورات والينابيع الحارة التى توجد بمنتزه «ييلوستون» تستمد حرارتها من مصدر عميق ، يدل على ذلك أنها تقع حول شواطئ بحيرة « ييلوستون » وفى داخل البحيرة نفسها ، وتمثل البحيرة حوضاً عظيماً من الماء البارد الذى لا شك قد أثر على حرارة الصخور التى تقع أسفل البحيرة ، وعمل على تبريدها إلى عمق كبير . ويحتمل أن يكون هذا المصدر العميق للحرارة مخزناً كبيراً من مخازن الصهير آخذاً فى البرودة والتصلب ، ومنه تتصاعد أبخرة عظيمة الحرارة تنتشر خلال الكسور ، وحيث تلتقى هذه الأبخرة بالمياه الجوفية تتهيأ الظروف لنشأة الجيزر والينابيع الحارة .

الباب الخامس

كوارث السيول
وتحرك المواد على جوانب المنحدرات

الفصل الثالث عشر : كوارث السيول .

الفصل الرابع عشر : كوارث تحرك المواد على جوانب المنحدرات .

الفصل الثالث عشر
كوارث السيول

لقد أصبح من الأمور المسلّم بها فى وقتنا الحاضر إرجاع الأشكال الأرضية الرئيسية فى الصحارى لفعل المياه الجارية ، سواء منها ما كان يجرى أثناء فترات المطر فى الزمن الرابع ، أو ما يسيل بين وقت وآخر فى ظروف المناخ الحالى . ولا يقتصرُ الأمر على كثرة مشاهدة السيول وكوارثها ، ورصد الفيضانات عند حدوثها ، وإنما يتعدّاها إلى حقيقة أن كثيرا من الأشكال الأرضية المثالية الملازمة للصحارى ، كالأودية ، والسهول الصخرية (البيديمنتات) ومسطحات الرواسب الفسيحة ، والمراوح الدلتاوية الرحبة ، كلها تحمل بصمات واضحة لفعل المياه الجارية .

أنماط الجريان المائى السطحى بالصحارى وأشباه الصحارى وما يصاحبها من كوارث

كوارث فيضانات الأنهار الدائمة الجريان :

لسنا هنا بصدد دراسة فيضانات الأنهار والمجارى المائية الدائمة الجريان أو الموسمية الجريان ، ذلك لأن كوارثها متوقعة فى الغالب ، وقد تمكن الإنسان من التحكم فى جريان الماء بها ، بإقامة السدود والخزانات ، فأَمِنَ أخطارها ، واستفاد من مياهها فى إرواء واستزراع مسلحات جديدة ، وفى توليد الطاقة الكهربائية ، ومثل هذا ينطبق على الأنهار العابرة للصحارى ، مثل نهر النيل ، ونهر الدجلة والفرات ، ونهر السند .

ورغم هذا فهناك أنهار تجرى على منسوب أعلى من منسوب سهولها الفيضية ، وذلك بسبب استمرار عمليات الإرساب على القاع وتعلية الضفاف . وفيضانات هذه الأنهار ، عندما تأتى عالية ، قد تجتاح الضفاف والجسور ، وتغمر المياه السهول الفيضية ، فتحدث الكثير من التخريب والتدمير .

ولقد بُذل الكثير من الجهود لتقوية وتوسيع الجسور الطبيعية على امتداد كثير من الأنهار ، كالنيل ودجلة والفرات ، والسند ، وأنهار إقليم فين Fen في شرقى انجلترا ، ونهر « بو Po » فى شمال إيطاليا ، ونهر المسيسيبى ، وهذه المحاولات قد تزيد الأمر سوء بالنسبة لبعض هذه الأنهار ، لأن النهر يستمر فى الإطماء ، ورفع قاعه ، ومن ثمّ يزداد ارتفاع منسوب مائه عن السهل الفيضى المعمور المحيط به ، فيزداد بالتالى خطره.

مثال ذلك نهر البو Po الذى يجرى فى سهل لومبارديا فى شمال إيطاليا ، الذى يُعدّ قلب الحياة الاقتصادية فى إيطاليا ، حيث تتمركز أهم الصناعات وأوسع المزارع ، فقد فاض فيضانا مدمرا فى شتاء ١٩٥١ - ١٩٥٢ ، وأغرق مساحات واسعة ، وتسبب فى كوارث بشرية كبيرة ، ومثله فى الخطورة وأكثر ، النهر الأصفر « هوانج هو » ، وهو الشهير الذى يوصف بأنه مصدر « الأسى للصين » لكثرة ضحايا فيضاناته الخطرة . ففى عام ١٨٥٢ حطم ضفافه ، ونقل مصبه مؤقتا مسافة تقرب من ٥٠٠كم من شمال شبه جزيرة « شا نتونج » إلى جنوبها ، وقد قُدّر عدد ضحاياه من الغرقى والمفقودين بما يزيد على مليون نفس . وفى عام ١٩٣٨ أثناء النزاع بين الصين واليابان ، حُوِّل مجراه الأدنى إلى الجنوب من موضعه الحالى لأغراض استراتيجية ، ولم يعد إلى مجراه الحالى الشمالى حتى ١٩٤٧ .

ويكاد لا يمرٌ عام دون أن تجتاح فيضانات الأنهار الموسمية فى جنوب آسيا وجنوبها الشرقى والشرقى ، مناطق السهول الفيضية التى تحفٌ بها، والتى يتكدس بها العمران ، ويتكاثف فيها السكان ، فتحدث التدمير والتخريب ، وإزهاق عشرات الألوف من الأرواح ، وتشريد عشرات بل مئات الألوف أحيانا من الأشخاص . وذلك حال البشر الساكن فى السهول الفيضية لأنهار الصين (هوانجهو - يانجستى - سيكيانج) وأقطار شبه جزيرة الهند الصينية (أنهار : ميكونج ، سالوين ، إيراوادى) والهند وبنجلاديش (الجانج Ganges) .

كوارث الماء الجارى العارض

ونقصد بالماء الجارى العارض ، ما تختص به الصحارى وأشباه الصحارى من تساقط مطرى عارض ، محدود الكمية ، لكنه قصير الأمد ، يسقط فى هيئة وابل ، وفى سويعات قليلة على أعالى المرتفعات ، وينحدر فى أودية جافة ، سبق أن حفرتها مياه العصر المطير الغزيرة ، ويتحول الوادى إلى سيل جارف ، يكتسح معه كميات هائلة من الرواسب ، ويصل بها إلى منطقة المصب التى تكون فى العادة عامرة بالقرى المأهولة بالسكان، والمحاطة بالمزارع ، فيدمّرها ويقتل ويشرد من البشر العدد العديد .

أنماط الماء الجارى العارض وكوارثها .

هناك نمطان رئيسيان للجريان المائى السطحى العارض بالصحارى هما :

١ ـ فيضان الوادى أو السيل Wadi-Flood or Torrent

٢ ـ الفيضان الغطائى Sheet-Flood .

والأول هو أكثر أشكال الجريان المائى السطحى شيوعا فى الصحارى ، وتحدث السيول عادة فى المناطق المرتفعة التى تقطعها الوديان الجافة ، كما سبق أن أشرنا ، لكنها تمتلئ بالمياه ، ويَعُمُّها الفيضان عقب سقوط أمطار محلية غزيرة . ويدخل ضمن هذا النمط سيول أودية صحراء مصر الشرقية ، وأودية شبه جزيرة سيناء ، تلك الأودية التى تشق لها مسالك جيدة التحديد خلال الهضاب نابعة من أعالى الجبال . ولعل هذه السيول تتبع مجارى سالفة شبه دائمة كانت تجرى بها المياه أثناء فترات مطيرة فى الزمن الرابع ، لكن فيضانات الأودية منذ أن حلت ظروف الجفاف فى الهولوسين ساهمت بلا شك فى حفر الأودية المتشعبة العميقة ، كأودية الصحراء الكبرى الأفريقية ، وصحراء شبه الجزيرة العربية ، وصحارى جنوب غرب الولايات المتحدة الأمريكية .

ويتمثل **النمط الثاني** الرئيسى للجريان المائى السطحى فى الجهات الصحراوية فيما يسمى **بالفيضان الغطائى** ، وكما يدل الإسم ، يحتوى الفيضان الغطائى تدفقا مائيا واسع المدى ، لا ينحصر فى مجرى أو قناة محددة ، وإنما ينتشر فوق كل المساحة الأرضية ، ولا يحدث هذا الشكل فوق أرض وعرة ممزقة مضرسة كالسيل (فيضان الوادى) بطبيعة الحال، وإنما يحدث بصورة مؤثرة فوق المنحدرات الهيّنة الممهدة غير المضرسة . ولا شك أن المنحدرات الهيّنة والمراوح الرسوبية التى تحف بالأراضى الصحراوية ، تُعدُّ مناطق نموذجية لتشكيل الفيضانات الغطائية، وفى مثل هذه المناطق ، تنشأ الفيضانات الغطائية إما عقب سقوط أمطار غزيرة محلية ، أو من تحول فيضانات الأودية التى تبزغ من مخارج خوانق الأودية المتجاورة .

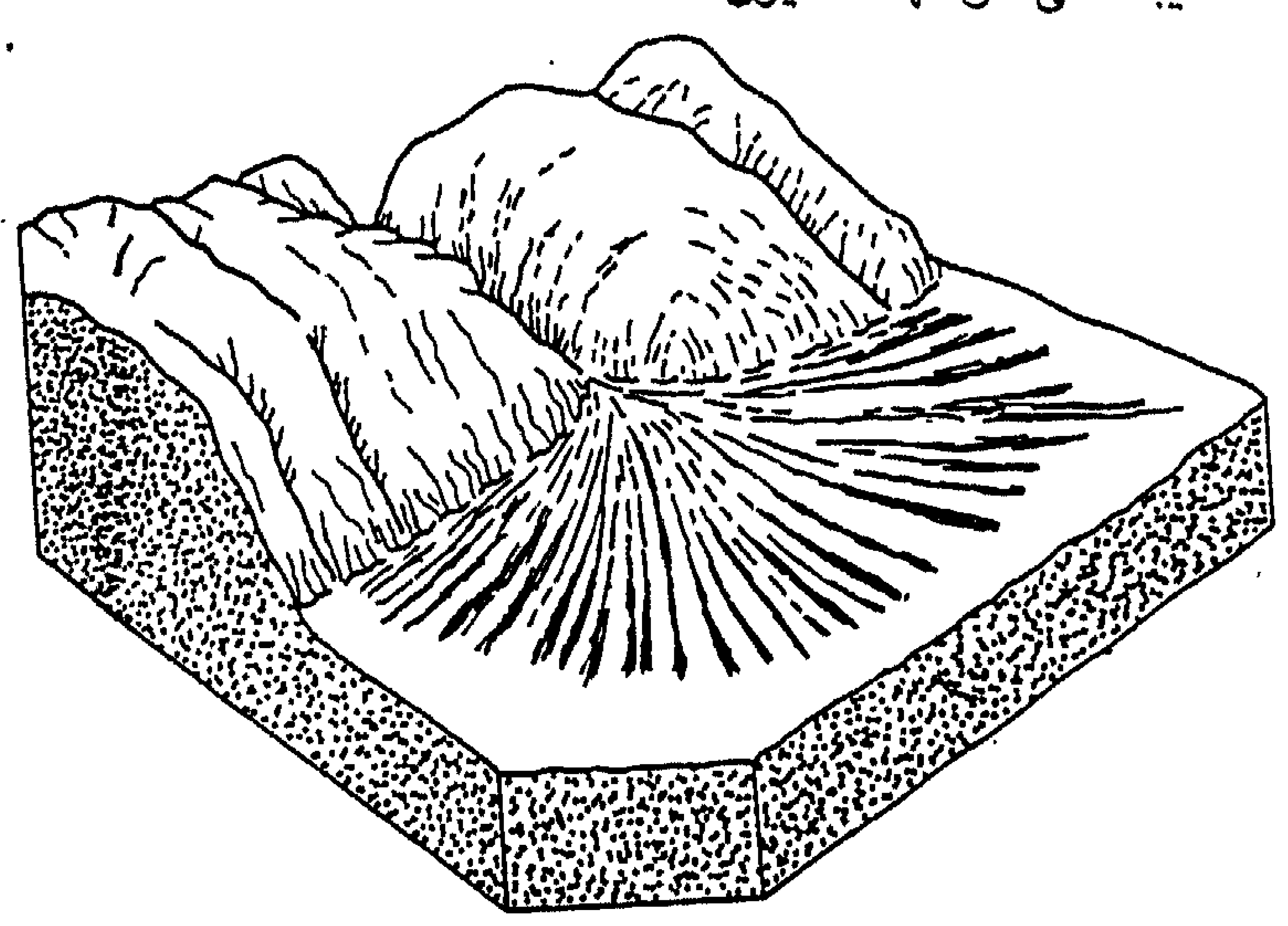
وينبغى أن نشير هنا إلى أن السيول (فيضانات الأودية) والفيضانات الغطائية لا تحدث إلاَّ فى هوامش الصحارى ، وليس فى داخلها ، إلا إذا وُجدت مرتفعات شاهقة ، نحسبها « مصايد » للمطر ، مثل الإطار الجبلى الصحراوى الممثل فى تيبستى والحجار.

إنه ليس من شك فى أن العواصف الاستثنائية المطيرة ، تحدث فى الصحارى ، لكن حدوثها ينحصر على الخصوص فى هوامش الصحراء ، وفوق المرتفعات التى تحف بها ، وتندر فى داخليتها . ونجد أمثلة عديدة ومتكررة للعواصف المطيرة ، وما يصاحبها ويعقبها من جريان مائى سطحى فى صورة سيول (فيضانات أودية) أو فى هيئة فيضانات غطائية فى مشارف مرتفعات البحر الأحمر ، فى صحراء شرق مصر وشرق شمال السودان ، لكن ليس فى داخلية صحراء مصر الغربية .

ونصادف أمثلة أخرى فى مشارف شمال ليبيا حيث تسقط أمطار شتوية فى جنوب برقة فى الشرق ، وفى جنوب الجبل الطرابلسى فى الغرب ، وعلى أبعاد من الساحل لا تزيد كثيرا عن مائة كيلو متر ، أو فى

أقصى الجنوب فى مشارف هضاب تيبستى حيث تسقط أمطار شتوية ، وكذلك الحال فى شبه الجزيرة العربية .

وينبغى أن نشير هنا إلى أن لا يشترط بالضرورة أن يسبب ازدياد التساقط دائما حدّة فى عمليات التعرية والتدمير ، بل لقد يكون العكس هو الحال فى بعض الأحايين . ذلك أن كمية صغيرة نسبيا من المطر الفجائى تأخذ شكل وابل انقلابى شديد ، وقصير المدى ، قد يُنشئ سيولا عنيفة محدودة العمر ، لكنها تجرى مسرعة متدفقة فوق سطح أجرد ، يخلو من النبات ، أو يتبعثر فوقه غطاء فقير من الأعشاب ، مثل هذه السيول الفجائية القصيرة الأجل التى تسمى « **الفيضانات الوامضة** » Flash Floods قد تجلب كميات هائلة من الرّواسب إلى منطقة المصب ، وتكتسح كل ما يصادفها ، وتكون الكارثة عندما يقوم الإنسان ببناء مساكن وإقامة منشآت عند مصبات الوديان حيث تنتشر المراوح الفيضية الخصيبة التى كونتها السيول .



شكل (١٤٢) : تجسيم لكيفية تكوين مروحة فيضية بواسطة سيل يجرى فوق منحدر جبلى ، ويصل إلى أسفل الجبل ، فيلقى بحمولته من الرواسب فوق السهل المتاخم ، أو على أرضية الحوض المنبسطة فى هيئة مروحة .

ويكثر وجود **المراوح والمخاريط الفيضية فى الأراضى شبه الجافة** ، ففيها تحمل السيول القصيرة العمر كميات كبيرة من المواد الصخرية ، وترسبها فى شكل مروحة أو مخروط . ومن أمثلة المراوح الفيضية المشهورة مروحة خور الجاش ، ومروحة خور بركة بالسودان . ومن أمثلة المخاريط الرسوبية المخروط الضخم الذى كونته السيول الجبلية، والذى يتاخم الجانب الشرقى من وادى ماديسون Madison فى جنوب ولاية « مونتانا» بالولايات المتحدة الأمريكية . والمراوح الرسوبية العديدة عند مصبات الأودية السيلية فى نهر النيل ، وفى البحر المتوسط والأحمر فى مصر والتى استزرع الكثير منها على مياه السيول ، والمياه الجوفية ، وبالاستعانة بمياه النيل .

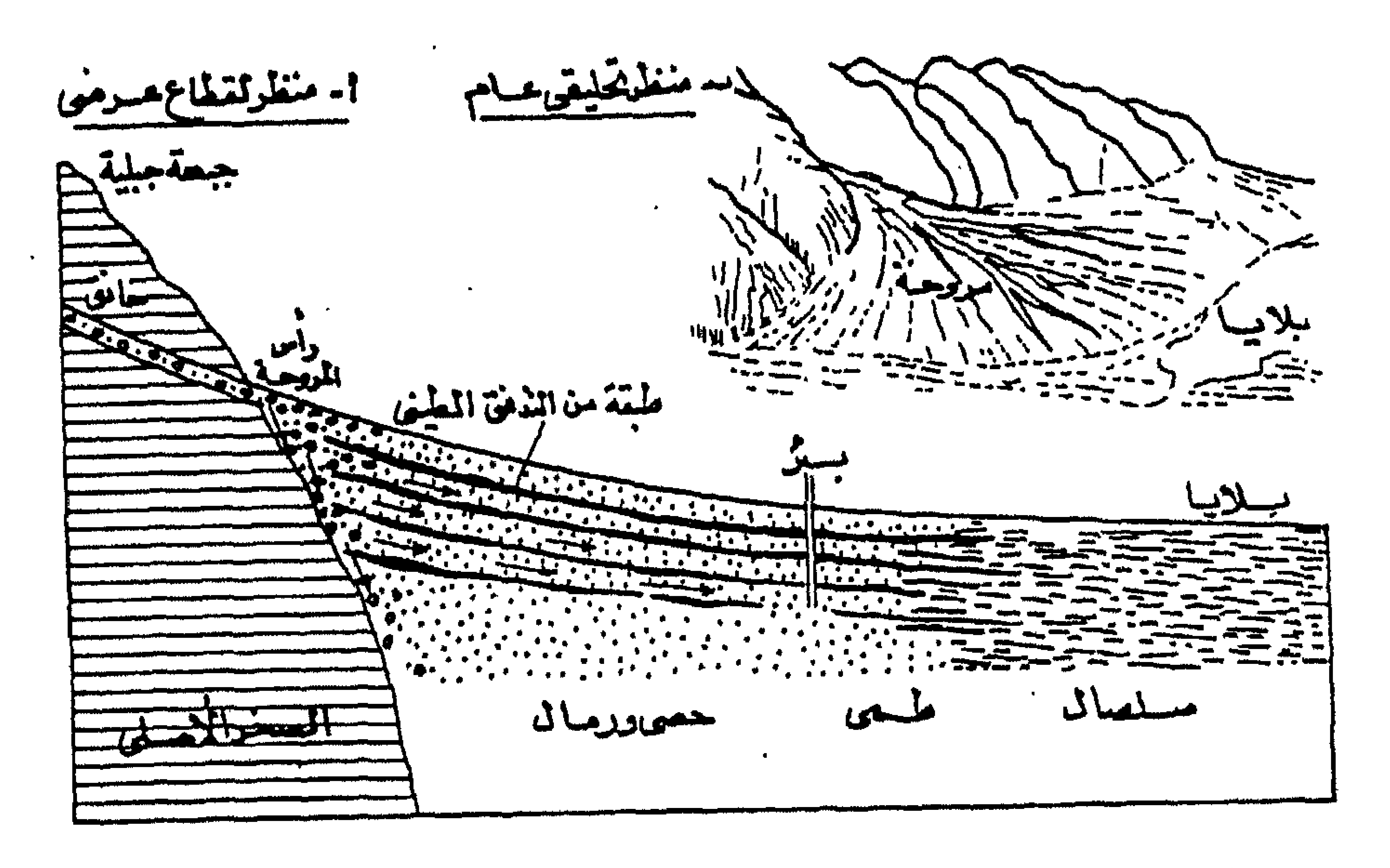
كوارث السيول فى مصر

هناك عدد من العوامل المؤثرة والمسببة لنشأة السيول فى مصر ، أهمها مظاهر السطح ، ومراكز الضغوط الجوية ، والكتل الهوائية والرياح العاصفة المطيرة . وتتوقّف خطورة السيل وشدته على كمية الأمطار الساقطة ، ومدة سقوطها ، ومدى اتساع حوض التصريف الخاص بالوادى، الذى يتجمع فيه مياه المطر ، ودرجة انحدار الوادى الرئيسى وروافده ، ونوعية الصخور التى يشقها الوادى ، ومدى مساميتها ونفاذيتها، وإمكانية وجود غطاء نباتى .

وتقتصر نشأة السيول وكوارثها فى مصر على شبه جزيرة سيناء، وصحراء مصر الشرقية . فهذان الإقليمان من أقاليم مصر الطبيعية هما المتميزان بالتضاريس الوعرة ، وبوجود سلاسل الجبال العالية التى يزيد ارتفاع كثير منها على ٢٥٠٠ متر ، والتى تقطعها شبكات كثيفة من الوديان البلايوستوسينية النشأة ، والتى تصرف مياه الأمطار الساقطة فى اتجاه البحرين المتوسط والأحمر ، وفى اتجاه نهر النيل .

والسيول مصدر للخير ، وإن كانت ترتبط فى أذهان عامة الناس بأنها الكوارث المسببة للخراب والدمار . فهى فى واقع الأمر المصدر الوحيد

لتمـوين مـخـازن الميـاه تحت السـطح ، التى تُعدّ الموارد الوحـيدة لكل الآبار والعيون التى يستقى منها سكان الصحـراء الشرقية وشبه جزيرة سيناء ، ويأخذون منها مياها للشرب ، ولسقاية مواشيهم ودوابهم .



شكل (١٤٣) : قطاع عرضى نموذجى لمروحة غرينية وما يتصل بها توضح حركة الماء الباطنى من رأس المروحة خلال طبقات الحصى والرمال .

أما كوارث السيول فتتأتى من الجريان السريع المندفع للمياه ، الذى يجرف أمامه كل ما يصادفه من حطام صخرى . وتحلّ الكارثة عندما تضرب السيول الطرق التى تربط بين محلات العمران وتدمّر المنشآت السياحية والحيوية ، وتخرب مظاهر استخدام الأرض كالمزارع والمساكن ، وتزهق الأرواح ، وتشرد آلاف البشر . **وقريب إلى الأذهان ما حدث من تدمير وتخريب ، بسبب سيول ١٧ و١٨ أكتوبر عام ١٩٨٧ ، و١٨ أكتوبر عام ١٩٨٨ ، ومن ٢٠ إلى ٢٤ أكتوبر ١٩٩٠ فى جنوب سيناء.** وسيول **أودية الصحراء الشرقية** التى تصب فى وادى النيل ، ومنها

سيول ١٩٧٥ فى محافظتى المنيا وأسيوط التى أغرقت اثنتى عشرة قرية فى المحافظتين ، وسيول ١٩٧٩ ، ١٩٨٠ و ١٩٨٢ و ١٩٨٥ ، ١٩٨٧ التى أصابت مناطق العمران فى الوجه القبلى ابتداء من القاهرة جنوبا إلى مدينة أسيوط ، وأحدثها سيول نوفمبر ١٩٩٤ .

أما المناطق من أسيوط حتى إدفو ، فقد أصابتها سيول ١٩٧٩ ، ١٩٨٠ ، ١٩٨٥ ، ومن إدفو حتى بحيرة السدّ العالى ، فقد أُضيرت بسيول مايو ١٩٧٩ ، وسيول أكتوبر من نفس العام (١٩٧٩) ، كما تكررت السيول المدمرة فى نفس المنطقة فى عامى ١٩٨٠ ، ١٩٨١ ، وقد أدى سيل ١٩٨٠ إلى عزل مدينة إدفو عن العمران المحيط بها ، وإلى إنهيار أكثر من ٣٠٠ منزل ، وتصدع كثير من المنشآت وإلى تحطيم الطرق ، وتعطيل حركة السكك الحديدية والسيارات .

ويتميز النطاق الجبلى المشرف على سهول البحر الأحمر بعدد عديد من الأودية القصيرة التى تنتهى إلى السهل الساحلى ثم تصُب فى البحر الأحمر ، وعلى الرغم من عظم سرعة تدفق المياه بما تجرفه من رواسب ، فإن تأثيرها على القرى السياحية ، ومراكز العمران أقل خطورة من سيول سيناء وسيول السهل الفيضى على امتداد الوادى ، ولعل السبب فى ذلك يرجع إلى تبعثر العمران فى سهول البحر الأحمر من جهة، وقلة الدراسات التى أجريت على السيول هناك من جهة أخرى . ومع هذا فقد تمّ رصد عدد من السيول ، منها سيول ١٩٧٩ التى شملت أولاد أبو سلامة والقصير ومرسى علم طريق قنا ـ القصير ، وكذلك سيول ١٩٨٧ على مدينة السويس وما جاورها ، وسيول أغسطس ١٩٩١ على منطقة مرسى علم ، تلك التى استمرت سبع ساعات ، وجلبت للبلدة نحو ٣٧ ألف مترا مكعبا من المياه ، ونحو ٢٠ ألف م٣ من الرواسب ، وألحقت بالتالى أضرارا بالغة بالمنازل والمنشآت ، والطرق داخل المدينة وخارجها .

هذا وقد كانت سيول شهر نوفمبر ١٩٩٤ عنيفة للغاية ، ونحسبها كارثة قومية غير متوقعة ، تشبه كارثة زلزال دهشور الشهير الذى حدث

فى ١٢ أكتوبر عام ١٩٩٢ . فقد سقطت كميات كبيرة من الأمطار على جبال وهضاب الصحراء الشرقية والصحراء الغربية وسيناء ، وملأت المياه مجارى الأودية ، واندفعت فى سيول أخذت تجرف كل ما اعترض طريقها من منشآت ومساكن ، وتَسبَّبت فى تحطيم الطرق المرصوفة ، وغرق الأراضى الزراعية ، وتدمير الجسور ، وتكسير خزانات وسيارات الوقود ، مما أدى إلى اشتعال الوقود فوق مياه السيول ، فاحترقت منازل قرية درنكة بمحافظة أسيوط بجنوب غرب المدينة ، وكان السبب هنا سيل جاء من الهضبة الغربية ، وهذه أول مرة تحدث فى التاريخ الحديث ، حيث لم تسجل سيول بهذه الشدة تأتى إلى قرى الضفة الغربية من الهضبة الغربية .

وقد أمكن حصر الخسائر الفادحة فى الأرواح والممتلكات فى الجدول الآتى :

المحافظة	الوفيات بالفرد	الإصابة بالفرد	الأسر المضارة بالأسرة	المنازل المحطمة بالمنزل	الأرض الزراعية الغارقة بالفدان
أسيوط	٤٦٨	٦٧	١٠٠٥٩	٥٣٧٩	١٣١٦
سوهاج	١٨	-	٧٠٠٠	٢٩٧٤	٦٣٠٤
قنا	١	-	٦٨٥٦	٢١٨٩	٤٥٦٤
القاهرة	٢	-	-	-	-
القليوبية	٧	-	-	-	-
الجيزة	١	-	-	-	-
الغربية	١	-	-	-	-
الإسماعيلية	١	-	-	-	-
جنوب سيناء	١	-	-	-	-
البحر الأحمر	٢	-	٤٠٦	٥١٩١	-
الأقصر	-	-	١٠٣٥	-	-
المنيا	-	-	-	-	٥٣
بنى سويف	-	-	-	-	١٧٨
الفيوم	-	-	-	-	٢

هذا عدا ما أشرنا إليه من تحطيم الجسور ، والسكك الحديدية ، والمعابر ، والسيارات . ويكفى أن نذكر كمثال للتخريب الذى أصاب الطرق المرصوفة ، ما حدث لطريق الشيخ فضل ـ رأس غارب ، فقد تحطم نحو ٣٠٪ من طول الطريق البالغ ٢٣٥كم ، وتآكلت جوانبه ، وهبوط بعض المناطق لمسافة ٨كم ، مع تكسير وإزالة التكسية على جانبي الطريق .

الجانب الإيجابي للسيول

كما أن السيول مصدر خطر ، فهى أيضا مصدر خير . السيول ظاهرة طبيعية ليس فى استطاعة الإنسان إيقافها أو منعها ، مثلها فى ذلك مثل العاصفة الممطرة التى تُسبِّبها ، ومثل هزة زلزالية ، أو ثورة بركانية . **لكن من المستطاع تفادى أخطارها أو التقليل من حجم تلك الأخطار، بل ومحاولة الإفادة من مياهها .**

فيما يخص تفادى أخطار السيول أو التقليل من حجم تلك الأخطار ، نقول إن كثيرا من الدراسات قد أُجريت على المستوى المحلى فى مصر ، وعلى المستوى العالمى فى الأقطار التى تعانى من كوارثها ، وما أكثرها ، فى بلدان العالم العربى وغير العربى . وقد نُفِّذ الكثير من التوصيات التى نتجت عن تلك الدارسات فى تلك البلدان ، وفى مصر أيضا .

ويمكن تقسيم تلك التوصيات إلى **قسمين** : قسم يختص بالإنسان، وقسم يختص بالتعامل مع الأودية السيلية ذاتها .

أما القسم الأول الذى يختص بالأنسان .. فينبغى إجراء دراسات مكثفة لاختيارأنسب الأماكن لإقامة العمران وتحديدها بكل دقة ، مع الأخذ فى الحسبان الدّراسات التى اجريت على سلوك ومسارات السيول ، والالتزام الكامل من جانب الهيئا يتلك الأماكن المحددة وعدم السماح بالسكن العشوائى . ونشر الوعى لدى المواطنين فيما جاور الوديان السيلية بعدم المخاطرة باستخدام الأرض زراعيا وعمرانيا ، إلا بعد

إستشارة الهيئات الحكومية المعنية . ذلك أن طول المدة التى لا تتعرض فيها منطقة معلومة لكوارث السيول ، لا يعنى أنها آمنة من خطرها ، كما أن هنالك مناطق لم تتعرض لكارثة سيل فى التاريخ الحديث ، أصابتها سيول ١٩٩٤ ، ومثالها قرية درنكة بمحافظة أسيوط لم تفاجئها من قبل كارثة سيلية .

أما القسم الثانى الذى يختص بالأودية كمجارى لمياه المطر ، فينبغى أن تتوفر **البيانات المناخية** خاصة فى أحواض الأودية التى تشتهر بكثرة حدوث السيول ، وذلك لتوضيح الصلة بين كميات المطر وإحداث السيول ، مع إجراء **أبحاث تحليلية لأحواض وشبكات التصريف المائى للأودية التى تكثر بها السيول** . ولا بدّ من بناء **سدود ركامية لإعاقة حركة مياه السيول** ، وتقليل سرعتها ، ولا يقتصر بناء السدود على الوادى الرئيسى وحده ، وإنما ينبغى أن تشمل روافد الوادى فى جميع أنحاء حوضه ، ولا يشترط فى سدود الإعاقة أن تكون كاملة ، بل تسمح بمرور المياه ، وتُبنى على التتابع من جانب إلى الجانب الآخر ، ويمكن إطلاق إسم « **سدود توجيه** » على تلك السدود ، **لأنها تترك مفايض جانبية** للمياه ، وهى فضلا عن إعاقتها للمياه ، والتقليل من سرعة السيل ، تعطى الفرصة لتسرب المياه لتغذية المياه الجوفية .

وقد جرى إنشاء سدود على بعض الأودية ذات الأحواض الفسيحة ، منها على سبيل المثال **سدّ الروافعة** على وادى العريش ، والسدود التى أنشئت على كثير من أودية **إقليم طرابلس وإقليم برقة بليبيا** ، مثال ذلك السدّان اللذان أقيما على وادى القطارة فى عام ١٩٧٢ ، الذى يصبُّ فى البحر عند بنغازى ، وقد حدثت تصدعات فى السّدين وانهار منهما سدّ «بوليّات» إثر سيل جارف ، **والسدّان على وادى درنه** الذى يصب فى البحر عند مدينة درنة . **والسدود الكثيرة التى أقيمت فى المملكة السعودية** على عدد من الأودية خاصة فى **إقليم عسير** الذى يتلقى كمية من الأمطار تجرى سيولا ، مثل وادى « نجران » ووادى « بيشة » ، وتنتظر

أودية سيلية أخرى إقامة مثل هذه السدود مثل وادى « جلى » ووادى « رنية» وادى بيش . وقد أقيم سدُ كبير على وادى جيزان الذى تقع معظم روافده العليا فى هضبة اليمن ، وإقامة مثل هذه السدود يخدم غرضين : الوقاية من أخطارها ، والغرض الآخر الاستفادة من المياه المحجوزة أمامه لتحقيق مزيد من التنمية الزراعية والاستقرار البشرى .

استثمار مياه السيول فى مصر

أولاً : فى الضفة الشرقية للوادى

وإذا كانت ظروف التضاريس وشحّ المياه فى الأودية فى بعض الأقطار لا تسمح بتوسع زراعى أفقى كبير ، فإن الوضع بالنسبة لأودية سيناء ، وأودية الصحراء الشرقية على الخصوص يختلف . **ذلك أن المراوح الرسوبية عند مصبات الأودية فى النيل من الاتساع والخصوبة بحيث تسنح بتوسع زراعى وعمرانى كبير فى شرق الوادى، الذى يكاد يخلو من مراكز العمران** . فإن المشاهد لخريطة العمران فى الوادى ، سيلحظ أن معظم السهل الفيضى يتسع على الجانب الأيسر (الغربى) ، وذلك أن النهر يلتزم فى غالب مجراه فى مصر الجانب الأيمن (الشرقى) ، فالمساحة الزراعية على الجانب الأيمن لا تكاد تصل إلى سُبْعٍ (١٤٪) مثيلتها على الضفة اليسرى ، وهذا يعنى أن العمران مكدّس بكل ظواهره على اليسرى دون اليمنى . فالضفّة اليمنى تخلو من الطرق الرئيسية ، ومن المدن الكبيرة المهمة ، خصوصا على امتداد الوادى فيما بين قنا وحلوان . والخط الحديدى من القاهرة حتى نجع حمادى يسير بامتداد الضفة الغربية ، وبعد نجع حمادى يعبر إلى الضفة الشرقية ، لكنه بعد ثنية قنا يبدومنعزلا تماما عن مراكز العمران والتركز السكانى فى الضفّة الغربية . فالمحطات الحديدية لمدن مهمة مثل إدفو ، وإسنا ، منفصلة عنها ، إذ توجد على الضفة اليمنى . وعلى المسافر أن يعبر النهر ليصل إليهما . وكذلك الحال بالنسبة لمثل المطلع من

المدينتين وإليهما ، وإبتداء من نجع حمادى جنوبا تتركز معظم المدن ، وغالبية السكان فى الضفة اليسرى .

ومن هنا تأتى أهمية **التوسع الزراعى والعمرانى فى شرق الوادى**، ولا مفرّ هنا بسبب تحكم التضاريس ، وشدة وضوح حواف الهضبة الشرقية **من استصلاح المراوح الفيضية** ، وذلك أن **مصبات الأودية تتميز بتربيات خصبة** ، وبطونها مستوية السطح فى الأغلب الأعم ، وتحوى الكثير من المياه الجوفية ، بحيث يمكن الاعتماد عليها فى الزراعة ، إلى جوار رفع مياه النيل آلياً إلى المناسيب العالية ، **وتُقدر إمكانيات التوسع الزراعى بالأجزاء الدنيا من أودية الصحراء الشرقية التى تصب فى النيل بنحو نصف مليون فدان .**

وسهل **كوم**أمبو خير مثال لاستغلال الأودية ومصباتها ، فهو يتألف كما سبق أن ذكرنا ، من التقاء واديين هما : **شعيث والخريط** ، وتزدهر بالسهل الزراعة الدائمة بالرى من مياه النيل ، وتشغل مساحة تبلغ بضع عشرات من الاف الأفدنة ، تزرع قصب السكر اللازم لمصانع شركة كوم امبو للسكر .

وقد امتدت الزراعة الدائمة أيضا فى **وادى عبّاد** شرق مدينة إدفو ، لمسافة تزيد على ٢٥كم نحو أعاليه (منابعه) وتتم الزراعة بالرش ، والرىّ السطحى . وقد تمّ توزيع الأراضى التى تبلغ مساحتها نحو ثمانية آلاف فدان على قبائل العبابدة والبشّاريين ، الذين تمّ توطينهم بها ، وتحوّلهم إلى الزراعة المستقرة ، كما استصلحت مساحة تزيد على عشرة آلاف فدان فى وادى الخريط ، وإتصلت بنطاق قصب السكر بكوم امبو .

ومن أهم الأودية التى تنتظر الاستزراع **وادى لقيطة** ، وبه مائة الف فدان صالحة للزراعة على المياه الجوفية التى تجرى به حين السّيل ، ثم تغور مكونة لمخزن مياه جوفى ، وعلى مياه النيل ، وهو أحد أودية شبكة ثلاثية تجمع **وادى زيدون** فى الجنوب ، **ولقيطة** فى الوسط ، ثم **الحمامات**

فى الشمال . وتلتقى الأودية الثلاثة عند بير لقيطة .

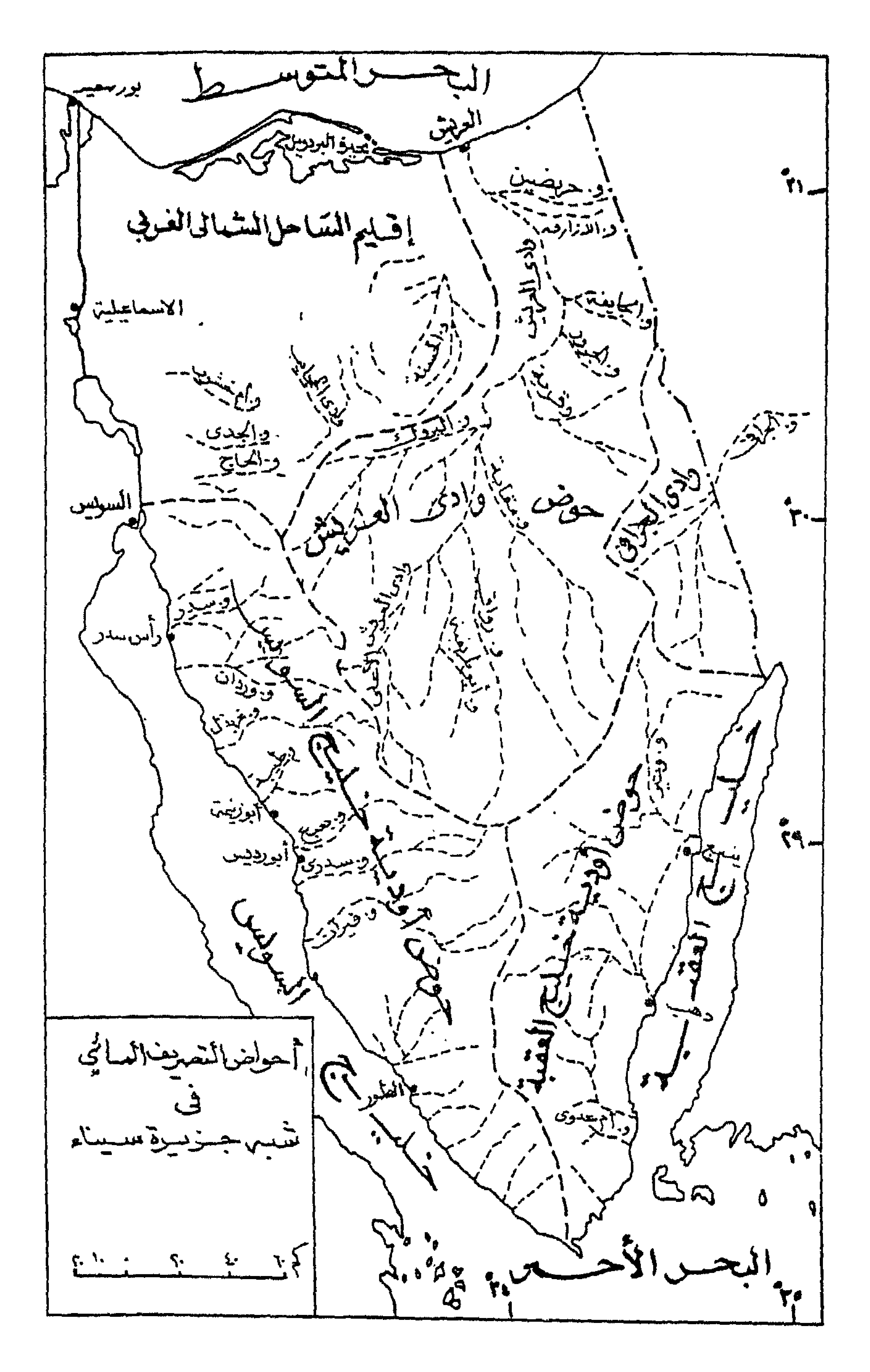
وبالمثل فإن وادى قنا يضم مساحات شاسعة صالحة للاستزراع على مياهه الجوفية ، وعلى مياه النيل ، إذ تغطيها تربات طينية خصبة ، إضافة إلى دلتاه التى يبلغ سمك تربتها أكثر من المترين ، وفيها الآن مساحات زراعية مُتناثرة .

ثانيا : استثمار مياه السيول فى سيناء وفى أقطار العالم العربى

أساليب الإنتفاع بموارد المياه الصادرة أصلا من الأمطار الفجائية والمندفعة فى سيول على جوانب المنحدرات ، معروفة ومعمول بها فى سيناء ، وفى عدد من الأقطار العربية ، وفى الصفحات التالية دراسات تختص بأساليب ووسائل الانتفاع بتلك المياه فى سيناء ، ثم فى الأقطار العربية .

- **شبه جزيرة سيناء** غنية بمواردها كالصحراء الشرقية ، وهى تركة عصور المطر السالفة ، فلا تجرى بها المياه حاليا إلا كل شتاء حينما تتساقط الأمطار ، **فتجرى بها سيولا** ، ورغم أنها تمزّق وجه شبه الجزيرة، فتزيده وعوره فإنها تقدم سبلا طبيعية لاختراقها ، كما تكشف عن المخبوء من ثرواتها الطبيعية ، ومعظم وديانها قصير شديد الانحدار ، باستثناء وادى العريش ، الذى يطاول وادى قنا ضخامة ، والوديان التى تنصرف إلى خليج العقبة أقصر وأشد انحداراً من مثيلاتها التى تصب فى خليج السويس ، ولذلك فسيولها أشدّ فتكاً وتخريباً .

وسيناء هى أغزر صحارى مصر مطراً ، والشريط الساحلى هو أغزر أجزاء شبه الجزيرة مطرا ، ويقل المطر من الشمال إلى الجنوب ، لكنه يعود إلى الكثرة فى أقصى الجنوب الجبلى المرتفع ، فالمطر إعصارى وتضاريسى ، ويسقط شتاء بهبوب الرياح الغربية وأعاصيرها ، وكذلك فى الخريف ، وفى الربيع بسبب هبوب الرياح الشرقية . ورغم تفاوت كمية



شكل (١٤٤) : احواض التصريف المائى فى شبه جزيرة سيناء .

المطر السنوى تفاوتاً كبيراً ، فإن متوسط الكمية الساقطة تجعل أجزاء من سيناء أقرب ما تكون لشبه الصحراء ، أو لمناخ شبيه بمناخ البحر المتوسط، ذلك أن متوسط كمية الأمطار الساقطة فى رفح تبلغ ٣٠٤,١ ملم، وفى العريش ١٠٤,٧ ملم ، وفى القصيمة ٩٧,١ ملم وتقل بالاتجاه غربا (بورسعيد المجاورة ٧٣ ملم) وجنوبا (الإسماعيلية ٣٧,٧ ملم ، السويس ٢٤,٧ ملم ، أبو رديس ٥و٢١ ملم ، الطور ١٠,٤ ملم ، نخل ٣٨,٢ ملم ، طابا ٢٧,٧ ملم ، سانت كاترين ٦٢ ملم ، شرم الشيخ ٢٣,٨ ملم) .

وموارد المياه فى سيناء إذاً هى **مياه مطر ووديان (سيول)** ، ومياه جوفية وعيون وآبار (أصلا من السيول) . وتستخدم طرق للاستفادة من مياه السيول ، تتمثل فى **العقوم والهرابات** (صهاريج) **والسدود والعيون** ، بينما يُستفاد من المياه الجوفية عن طريق الآبار **والخنادق** .

وفيما يلى عرض للطرق والأساليب المستخدمة للاستفادة بالمياه السطحية التى تأتى بها السيول ، وبالمياه الجوفية التى تسربت إلى تكوينات ما تحت السطح من الجريان السيلى ، وذلك فى كل من سيناء وبلدان العرب وبعض الأقطار الصحراوية الأخرى .

١ ـ شق القنوات على المنحدرات ، سواء كانت منحدرات جبال أو هضاب أو تلال أو أودية ، وذلك لتحسين الجريان السطحى ، وتحويل سبل الفيضانات وتوجيهها نحو المساحات المراد زراعتها .

٢ ـ نظام العقوم المستخدم فى شبه جزيرة سيناء .

٣ ـ الصهاريج ومنها الصهاريج الرومانية ، والهرابات أو الخزانات فى سيناء .

٤ ـ السدود .

٥ ـ العيون .

٦ ـ الآبار .

٧ ـ الخنادق المائية .

٨ ـ الأفلاج .

٩ ـ الضخ الصناعى .

١ ـ شق القنوات على المنحدرات

هى وسيلة استخدمها إنسان المناطق الجبلية شبه الجافة للحصول على كميات من مياه الجريان السطحى المتقطّع فى مناطق المنابع لكى يضمن زراعة محصول معلوم . فهو هنا قد حاول تطويع الأرض لتجميع أكبر قدر من المياه المنسابة عن طريق حفر شبكة من القنوات لتوجيه جريان المياه إلى الأماكن التى تتوفر فيها تربة مناسبة ، وتتصف بقدر من الإستواء يسمح بالزراعة . ومثل هذا الأسلوب ما زال متبعا فى كثير من أراضى الوطن العربى الجبلية شبه الجافة ، مثلما يرى فى **جبال سلطنة عمان** ، **وهضاب اليمن وعسير والحجاز** ، **واقليم البلط فى جنوب هضبة برقة** ، وفى المنحدرات الجنوبية **لجبال أطلس بالجزائر** ، وفى **منحدرات تيبيستى** .

٢ ـ نظام العقوم

وهو نظام مستخدم فى شبه جزيرة سيناء وكان مستخدما فى صحراء النقب ، وأعيد استخدامه فيها منذ الستينات ، ويهدف إلى تحسين الجريان السطحى حتى يمكن الاستفادة من كميات الأمطار القليلة المتفاوتة فى كمياتها وفى فترات سقوطها ، ويعمد السكان إلى تقسيم أراضيهم إلى وحدات مساحية صغيرة تسمى فى سيناء « بالعقوم » ، يبلغ متوسط مساحة كل منها حوالى هكتار (نحو ٢,٤ فدان مصرى) ويقوم كل مالك بالتقاط الحطام الصخرى والحصى ، ويطهر التربة السيلتية (الغرينية) من المكونات الخشنة ، ويحيطها بسياج ترابى ، ويتم تركيز جريان المياه على مُنْحَدَرَات الوديان والتلال بواسطة قنوات صناعية ، تؤدى

إماً إلى تلك العقوم مباشرة ، فتنشأ بيئة رطبة صالحة للزراعة ، وما يفيض يُوَجَّهُ إلى **أحواض تجميع** تعمل بمثابة خزانات للمياه لاستخدامها عند الحاجة .

ويبدو أن العقوم أو ما يماثلها أسلوب متبع فى كثير من بلدان العرب الصحراوية ، ففى **الصومال** يتم تسوير الأراضى على المنحدرات الهينة بجسور ترابية توازى خطوط الارتفاعات المتساوية ، **لتخدم غرضين** : الأول ، وقاية التربة من الانجراف ، والثانى ، تجميع أكبر قدر من مياه الأمطار والانسياب السطحى لتزويد المحاصيل بحاجتها من المياه .

٣ - الصهاريج - الهرابات - السراديب

الصهاريج خزانات مياه أنشأها الرومان على امتداد الطرق الطويلة التى بنوها فى أنحاء امبراطوريتهم الواسعة لتربط بين أجزائها المترامية الأطراف ، وما يزال لها وجود على امتداد سواحل الأقطار العربية الأفريقية المطلة على البحر المتوسط . وكانت وظيفتها خزن مياه الأمطار لاستخدامها لسقاية الانسان والحيوان ولأغراض الزراعة أيضا .

والهَّرابات فى سيناء هى الصِّنْوُ المرادف للصهاريج . فهى حُفَرٌ صناعية ذات أشكال وأحجام متفاوته ، يتم حفرها فى الأرض الصخرية ، أو بناؤها بالأحجار ، ويجرى تبطين جدرانها بالأسمنت . وتتحدد مواقعها فى الأماكن الواطئة عن مخارج الوديان والمسيلات المائية الصغيرة ، فإذا ما تساقطت الأمطار ، أخذت مياهها طريقها إلى تلك الأحواض المسقوفة فتملأها . وتُترك فى السقف فتحة بغطاء محكم ، يمكن عن طريقها الحصول على المياه العذبة عند الحاجة . وتتراوح سعة الهرابات حسب أحجامها فيما بين ٢٠٠ ـ ٥٠٠ متر مكعب . ويوجد بسيناء نحو خمسين هرابة ، موزعة بين الوسط الذى يستأثر وحده بأكثر من نصف العدد ، وإقليم خليج السويس ، وبه ١١ هرّابة والباقى فى منطقة بئر العبد .

٣ ـ المصرية

عرفت مصر الفرعونية بناء السدود في أودية صحاريها ، وما تزال بالقرب من حلوان آثار لسد حجري فرعوني ، يرجع تاريخ بنائه إلى عصر بناة الأهرام منذ أكثر من خمسة آلاف وخمسمائة سنة مضت .

وبناء السدود لحجز المياه لا يقتصر على مصر الفرعونية وحدها ؛ فسد مأرب باليمن القديمة ذائع الشهرة . لكن السدود التقليدية التي يبنيها البدو بإمكانياتهم المتواضعة ، لا تعدو أن تكون سدودا ترابية ، وتتم تقويتها بالحجارة ، وتتفاوت في ارتفاعاتها وأسماكها، وتقام متتابعة في مجاري الوديان ، بحيث يحجز الأعلى منها قدرا من المياه حسب حجمه وارتفاعه ، وتعلوه المياه وتجري لتحتجز أمام السد الذي يليه، وهكذا . وغالبا ما تكون السدود ضعيفة بحيث لا تتحمل ضغط مياه السيول فتنهار .

وقد اتجهت الهيئات المسئولة بالأقطار الصحراوية إلى بناء السدود القوية القادرة على حجز كميات كبيرة من المياه أمامها ، فتم بناء عدد من السدود على الأودية في صحاري مصر في هذا القرن العشرين ، أهمها في سيناء سد الروافعة ، الذي أقيم على المجرى الأدنى لوادي العريش ، إلى الجنوب من مدينة العريش بنحو ٥٠ كيلو مترا . وتكفي المياه المحتجزة أمامه لإرواء حوالي ٤٠٠ فدان ريّاً دائما ، علاوة على توفير المياه للاستخدامات المنزلية ، ولسقاية الحيوانات .

وقد اتجهت الأقطار الصحراوية البترولية إلى استثمار قسم كبير من عائدات البترول في المجال الزراعي ، ومن ثم كان لا بد من بناء السدود على مجاري الوديان ، حتى لا تنصرف مياه السيول إلى البحر أو إلى الصحراء الجافة الحارة فتتبدد دون الاستفادة منها ، ولكي يمكن تلافي الدمار الناتج عن السيول التي تجتاح كل ما يصادفها من طرق ومنشآت ومزارع ، وللاستفادة من المياه المحتجزة أمامها في إرواء مساحات زراعية

متزايدة ، ولإثراء مخزون المياه الجوفية فى محيط الخزان عن طريق التسرب خلال مسام الصخور ، والتى يمكن استغلالها بواسطة الآبار .

وتزخر **شبه الجزيرة العربية** بأعداد كثيرة من الوديان التى تتميز بأحواض تجميع للمياه كبيرة ، وقد تم تنفيذ عدد من مشاريع السدود خاصة فى الغرب والجنوب الغربى حيث تكثر الأمطار نسبيا ، من بينها سد أبها فى مرتفعات عسير بالمملكة السعودية . وفى **دولة الامارات** مشاريع لإقامة سدود على أودية مختارة تنحدر إليها من جبال عمان ، مثل وادى حام ، وادى البيح ، ووادى شعم ، ووادى سيجى . **وفى ليبيا** تم إنشاء سدود على وادى درنه الذى يصب عند مدينة درنه . ووادى القطارة الذى ينتهى عند مدينة بنغازى فى إقليم الجبل الأخضر ، ووادى المجينين ، ووادى إمسيل ، ووادى رثل ، ووادى معيط فى إقليم طرابلس . كما أقيمت سدود على مجارى الوديان **بإيران** لخزن المياه لاستخدامها فى زراعة مساحات من الأراضى الجافة ، ومعظم هذه المشاريع أقيمت فى الشمال بالقرب من بحر قزوين ، وخول طهران ، وفى حوض نهر قارون وعلى امتداد الخليج العربى . ويرجى عن طريق هذه المشاريع توفير المياه لرى نحو نصف مليون هكتار ، تُضاف إلى الخمسة ملايين الموجودة حاليا ، والتى تُروى ريا دائما فى إيران .

٥ - العيون أو الينابيع

وهى فتحات فى السطح تنبثق منها المياه دون ضخ . وهى أما طبيعية أو صناعية . والعيون الطبيعية إلى جوار الآبار الضحلة كانت المورد الرئيسى للمياه اللازمة لسقاية الإنسان والحيوان ، ولإرواء المزارع المحدودة الرقعة فى الواحات . أما العيون الصناعية فهى التى فجرت بالمياه دون ضخ ، نتيجة لعمليات الحفر للتنقيب عن البترول فى الجهات الجافة ، ومن أمثلتها العيون التى تنبثق منها المياه تلقائيا فى **منخفض مرادة الليبى** الواقع على بعد نحو ١٢٥ كيلو مترا جنوبى بلدة اجدابيا على خليج سيرت ، **وعيون صناعية** مماثلة بمنخفضات الكفرة وفزان . وتوجد

سبعة عيون صناعية ، ناتجة أيضا عن عمليات الحفر التجريبى للبترول ، **فى جنوب غرب سيناء** ، منها عيون موسى وعيون رأس سدر ، وعيون السلسلة .

٦ - الآبار

وهى المورد الرئيسى التقليدى للحصول على المياه الجوفية فى جميع أنحاء الأراضى الجافة . والآبار نمطان من حيث العمق ، **الأول الآبار الضحلة** ، وهى ما تزال الأكثر شيوعا . ويتم حفرها بواسطة السكان إلى أعماق يصل أقصاها إلى نحو ١٥ مترا . أما **النمط الثانى فيتمثل فى الآبار العميقة** وتقوم بحفرها شركات متخصصة ، وتصل أعماقها إلى بضع مئات من الأمتار ، وأقصى عمق لا يزيد على ١٠٠٠ (ألف) متر .

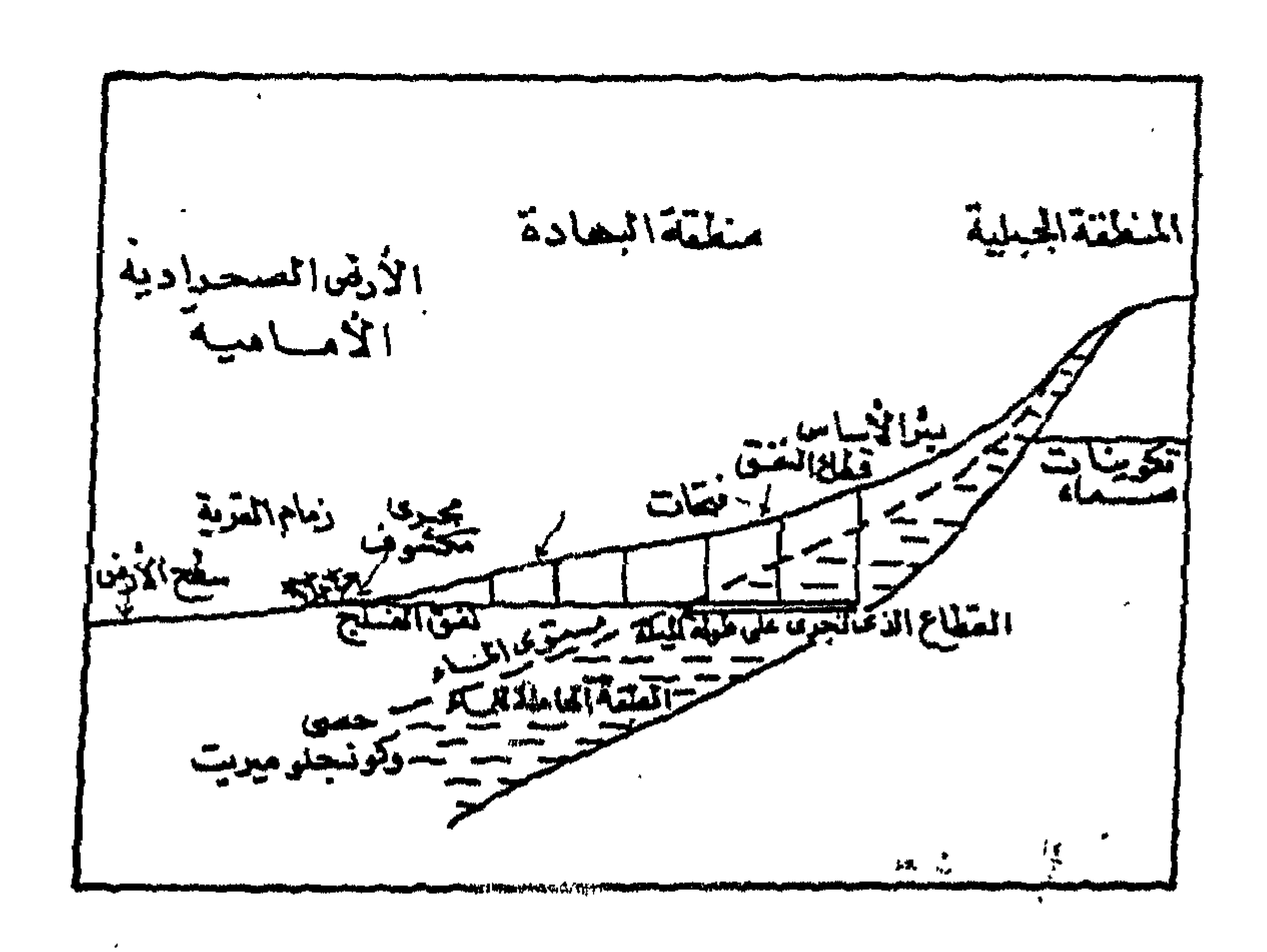
وتستمد الآبار مياهها من تكوينات الزمن الرابع ، وهى رواسب فيضية فى بطون الوديان ، والمراوح الرسوبية ، والكثبان الرملية ، كما تستمد مياهها من الطبقات الجيولوجية الأقدم الحاملة للمياه الحفرية ، تلك الطبقات التى تنتمى لأعصر الزمنين الثانى والثالث ، والتى تتألف من صخور جيرية ورملية . وتعتمد كل مشاريع الزراعة الكبيرة على المياه المستمدة من الآبار العميقة ، مثل مشاريع الزراعة فى شرق المملكة العربية السعودية ووسطها ، وفى الوادى الجديد بمصر ، وفى الكفرة وفزان بليبيا.

٧ - الخنادق المائية

هى تجاويف فى الرمال تتسرب إليها وترشح فيها المياه من جوانب التلال الرملية المحيطة بها ، فتبدو بشكل بحيرات صناعية صغيرة مستطيلة الشكل . **وتسمى فى شبه جزيرة سيناء بالخنادق ، ولها مثيل فى القسم الشمالى من صحراء مصر الغربية ، خاصة فى منطقتى مطروح والقصر** ، بطول كلى مقداره ٣٧٦٢ مترا ، وهى تروى بضع عشروات من الأفدنة تتراوح بين مائة ومائتى فدان تزرع بالخضر ، إضافة إلى استخدام مياهها فى الشرب .

والخنادق فى سيناء أكثر عددا ، وأهم بكثير كمورد مائى ، ويبلغ عددها ١١ خندقا ، منها سبعة خنادق بنطاق خليج السويس ، وأربعة خنادق بمنطقة الشيخ زويد بشمال سيناء . ومن أهم هذه الخنادق خندق الخروبة ، ويقع بالقرب من الشريط الساحلى ، وزمامه ٢١٢ فدانا ، منها ٤٥ فدانا تحتلها أشجار العنب ، و١٦٧ فدانا تشغلها أشجار الزيتون والخضر ، ويبلغ طوله ٦٠٦٠ مترا . وخندق الشيخ زويد ، وطوله ٤٩٧ مترا ، ويروى نحو ٥٦٢ فدانا ، وخندق ليه الحصين وطوله نحو ٢٣٩ مترا، ويروى حوالى ٢١٦ فدانا .

ويبلغ التصريف المائى للخنادق الثلاثة ، وهى الخروبة والشيخ زويد وليه الحصين على التوالى : ٦٠م٣/ساعة ، ٨٠م٣/ساعة ، ٤٥م٣/ساعة . ويمكن الاستزادة من مياه الخنادق لارواء مساحات أكبر دون أن يخل ذلك السحب بالتوازن المائى فى محيط تلك الخنادق ، فلا تختلط مياه البحر المالحة بالمياه العذبة .



شكل (١٤٥) : قطاع عرضى لفلج (قناة) فى منطقة بيدمونت :

الأفــلاج

نظام « الأفـلاج » من أهـم أسـاليب الاسـتفادة من المياه الجـوفيـة . والأفـلاج مفـردهـا « فلـج » ، وهـو الاسم الأكثـر اسـتخـداما فى شـبه جـزيرة العــرب ، بينمـا يـسـمى « قناة » أو « خـانات » Khanat فـى إيـران ، وفـى بلـوخـسـتـان وباكـسـتـان يعـرف باسم « كـاريز » Karez ، وفى الـعــراق «كهريز» ، وفى الجـزائر يسمونه « فجارة » .

ونظام الافـلاج مـوجـود فى كل الأقطار التى سـبق ذكـرها منذ زمن بعـيد ، ويقـال أن بداية انشـائها يعـود إلى أواخر الألف الـثانيـة قبل الميـلاد ، عندمـا أنشــأ الـفـرس القـدامى عـددا من القنوات عـلى عـمق وصل إلى ١٠٠ متر، وبطول وصل ٥٠ كم . ومن فـارس القديمـة انتشـر النظام إلى جهـات بعيدة فى أواسـط آسيا ، وبلـوخستان ، وباكستان ، وشبه الجزيرة العربية، والصــحـراء الكـبرى الأفـريقـية ، بل لقـد وصل إلى أمـريكا الجنوبيـة ، وإلى جهات غـير متوقعة مـثل مقاطعة بافاريا بجنوب غـرب ألمانيا ، وإقليم مدينة مدريد بأسبانيا .

ومـــا تزال القنوات (أو الخـــانات) ظاهرة واسـعـة الانتـشـار للحصـول على المياه العذبة فى إيران ، حيث يُقدّرُ عددها حاليا بنحو أربعين ألف قناة ، وفى بـلوخسـتـان ، وإلى حدٍّ ما فى باكسـتـان ، لكن قد قل عددها فى العراق ، ولـم يعد صـالحـا من **كهاريزها** سوى ٥٠ كهريزا ، وتحل محلها الآبار الأقل كلفـة سـواء فى الحـفـر وفى الصـيانـة .وهـى معـروفـة أيضـا فى سلطنة عمان وفى شمال شرق دولة الامارات العربية .

والفلج قناة بهيـئـة نفق ، يجرى حـفرهــا فى منحــدر ابتداء من بئر رئيسى فى مســتوى أعلى إلى بئر ثان فى مسـتوى أوطأ إلى ثالث ورابع ... وهكذا بانـحـدار تدريجــى ، وقـد يتـشـعـب الـفلج باتجاه مـصدر الميـاه ، فيـتكـون من قناتين (نفـقين) أو أكثـر ، لمضــاعفة مسـاحة تجميع الميـاه ،

كما فى منطقة أربيل بالعراق . وتتراوح المسافة بين كل بئر وآخر فيما بين ١٥ـ٢٥ مترا ، وتنتهى القناة (النفق) إلى سطح الأرض فى نهاية المنحدر ، حيث تظهر المياه وكأنها عيون جارية ، وقد يبلغ طول الفلج ١٠ كم ، ويصل عمق قناته (نفقه) ١,٥ متر ، وعرضها نصف متر ، والقناة كما ذكرنا بهيئة نفق ، أى أنها مسقوفة لمنع تبخر المياه ، ولوقايتها من التلوث ، ويتم حفر فتحات أشبه بالنوافذ فى السقف على امتداد القناة أو النفق ، بين كل فتحة وأخرى نحو ١٠٠ متر ، يمكن من خلالها الوصول إلى القناة (أو النفق) لإخراج الرواسب التى تتراكم فيها وتنظيفها .

وما قد **تبقى من الأفلاج فى العراق** ، يوجد فى مناطق أربيل والسلمانية وسنجار وبدره . **أما فى إيران** فإن الاعتماد عليها فى إرواء الأراضى الزراعية ما يزال كبيرا ، ذلك أن رى نصف أراضيها الزراعية يتوقف على مياهها . وتجرى المياه فى الأفلاج ليلا ونهارا وبصفة مستمرة. وحينما تجف الأفلاج فى منطقة من المناطق ، فإن سكانها قد يهجرون حقولها وقراها . وتستخدم قوة المياه المتدفقة فى القنوات فى إدارة طواحين المياه التى تستخدم فى طحن الحبوب بإيران .

الضخ الصناعى

لابد من الضخ الصناعى لرفع المياه الجوفية إلى السطح فى الأراضى الصحراوية المستوية . وهنا نجد عددا من الوسائل التقليدية المستخدمة ، من ذلك السَّواقى أو النَّواعير التى تقام على الآبار ، وتقوم بتشغيلها الابل أو الثيران أو الأبقار ، ويوجد الأكثر بدائية منها فى قلب الصحراء حيث تُستخدم القِربُ المصنوعة من الجلد لجلب المياه من الآبار الضحلة إلى السطح ، حيث يتم تفريغها فى أحواض تتصل بها قنوات صغيرة توصل المياه إلى الحقول المزروعة .

الفصل الرابع عشر

تحرك المواد والخسف الأرضى وكوارثهما

تدخل عمليات تحرك المواد الصخرية على المنحدرات الجبلية ، ووصولها إلى مناطق العمران المنتشرة على إمتداد أسافلها ، ضمن كوارث الطبيعة ، سواء كان وصول الحطام الصخرى بصورة فجائية كالهزة الزلزالية ، أو كان غزوهُ للعمران بطيئا ، لكنه يسيرُ حثيثا . وكذلك حال الخسف أو الهبوط الأرضى الذى يحدث فى بعض المناطق مفاجئا ، وفى بعض المناطق الأخرى بصورة تدريجية متأنية ، لكنها ضارّة مؤذية بل ومفجعة .

تحرك المواد على المنحدرات

يتعرض تحرك الحطام الصخرى على المنحدرات الجبلية لعمليات عظيمة التنوع ، بعضها يتم ببطء ، ولكن بصفة مستمرة ، بينما يتسبب البعضُ الآخر فى تحركات فجائية لحطام صخرى كبير الحجم ، تعقبها فترات هدوء طويلة (مثلها فى ذلك مثل السيل المفاجئ ، أو الرجفة الزلزالية ، أو الثورة البركانية) وقد لا تكون العمليات البطيئة الحديثة هى المسئولة الأولى عن تشكيل المنحدرات ، ولكنها التحركات العظيمة المتقطعة للمواد الصخرية ، التى تسبب أيضا الكوارث الداهمة .

وقد أمكن التعرف ، من خلال دراسة عمليات تحرك المواد الصخرية على جوانب المنحدرات الجبلية ، على سلسلة متتابعة الحلقات ، تبدأ بالجدول (مجرى مائى ضئيل) Rill ، الذى تكون فيه السيادة للمياه على الفتات الصخرى ، ثم إلى عملية غسل المنحدر ، فالتدفق الغطائى (أو الشريطى) Sheet Flow ، والتدفق الطينى Mud Flow ، ومنه إلى التدفق الأرضى Earth Flow ، فانهيار (انهيال) الفتات الصخرى Debris

Avalanche . ثم أخيراً الإنزلاق الأرضى Lands Slide ، وانزلاق الفتات الصخرى Debris Fall ، وانزلاق الكتل الصخرية Rock Slide ، والتساقط الصخرى Rock Fall .

وهناك اختلاف واضح بين انهيار الحطام الصخرى وجميع أنواع الأنزلاقات (أرضية ، صخرية ...) من جهة .، وبين جميع أشكال تحرك المواد من جهة أخرى . ويتضح هذا الإختلاف فى طبيعة التحرك ، فكل أشكال تحرك المواد الصخرية التى تشارك فيها المياه تتعرض للتدفق Flow، أما الأنماط الأجفّ فتعانى الانزلاق أو التزحلق Sliding , Slumping .

والفرق بين التدفق والإنزلاق يتمثل فى أن التدفق تصاحبه سرعة تحرك كبيرة عند سطح كتلة المواد الصخرية المتحركة ، وتتناقص السرعة حتى تصل إلى الصفر عند قاعدة تلك الكتلة ؛ بينما تصاحب الإنزلاق سرعة تحرك متعادلة تصيب كل أجزاء كتلة المواد من أعلاها إلى أسفلها ؛ أو قد يحدث أحياناً أن تزداد السرعة ازديادا طفيفا صوب القاع .

هذا ويمكن تقسيم تحركات المواد الصخرية التى تصيب مناطق العمران بالكوارث إلى نمطين رئيسيين هما : تدفق ، وانزلاق .

وفى التدفق نميز بين نمطين رئيسيين هما : البطيئ والسريع .

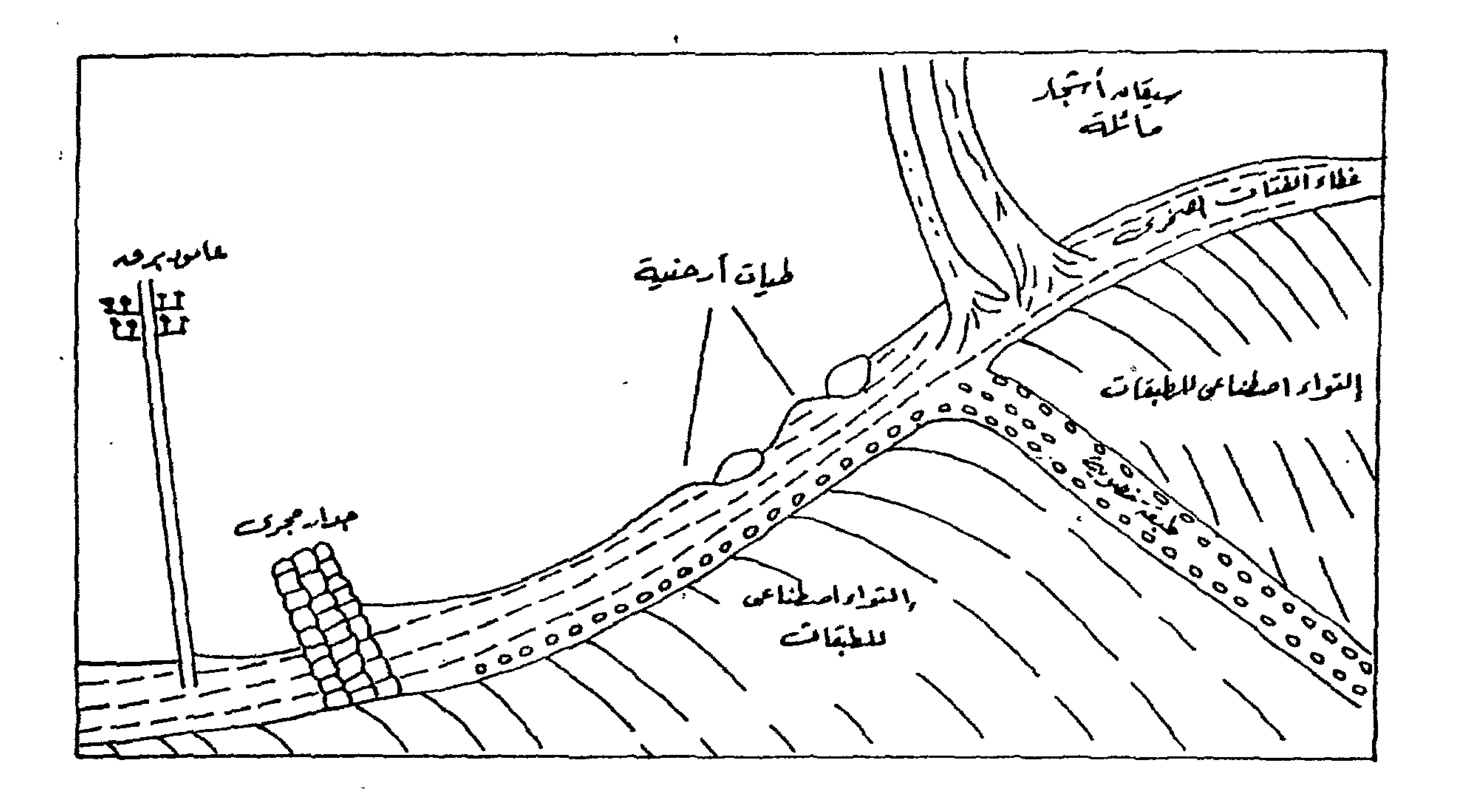
تحرك المواد بالتدفق البطيئ

ويُطلق على تحرك المواد الصخرية ببطء تعبير « زحف Creep » ، وأشهرها وأكثرها شيوعاً ما يُعرف بزحف التربة Soil Creep ، ثم زحف الحطام الصخرى إلى حضيض المنحدرات لتكوين المخروط الرسوبى الذى يستند على أسافل المنحدر ويُسمى Talus وتُسمى العملية Talus Creep، وزحف الصخر الجليدى (أى الذى جرفه الجليد أصلا) Rock Glacier Creep والزحف الصخرى Rock Creep ، ثم الإنسياب الأرضى Solifluxion (تُسمى العملية بالألمانية Bodenfliessen أى انسياب الأرض).

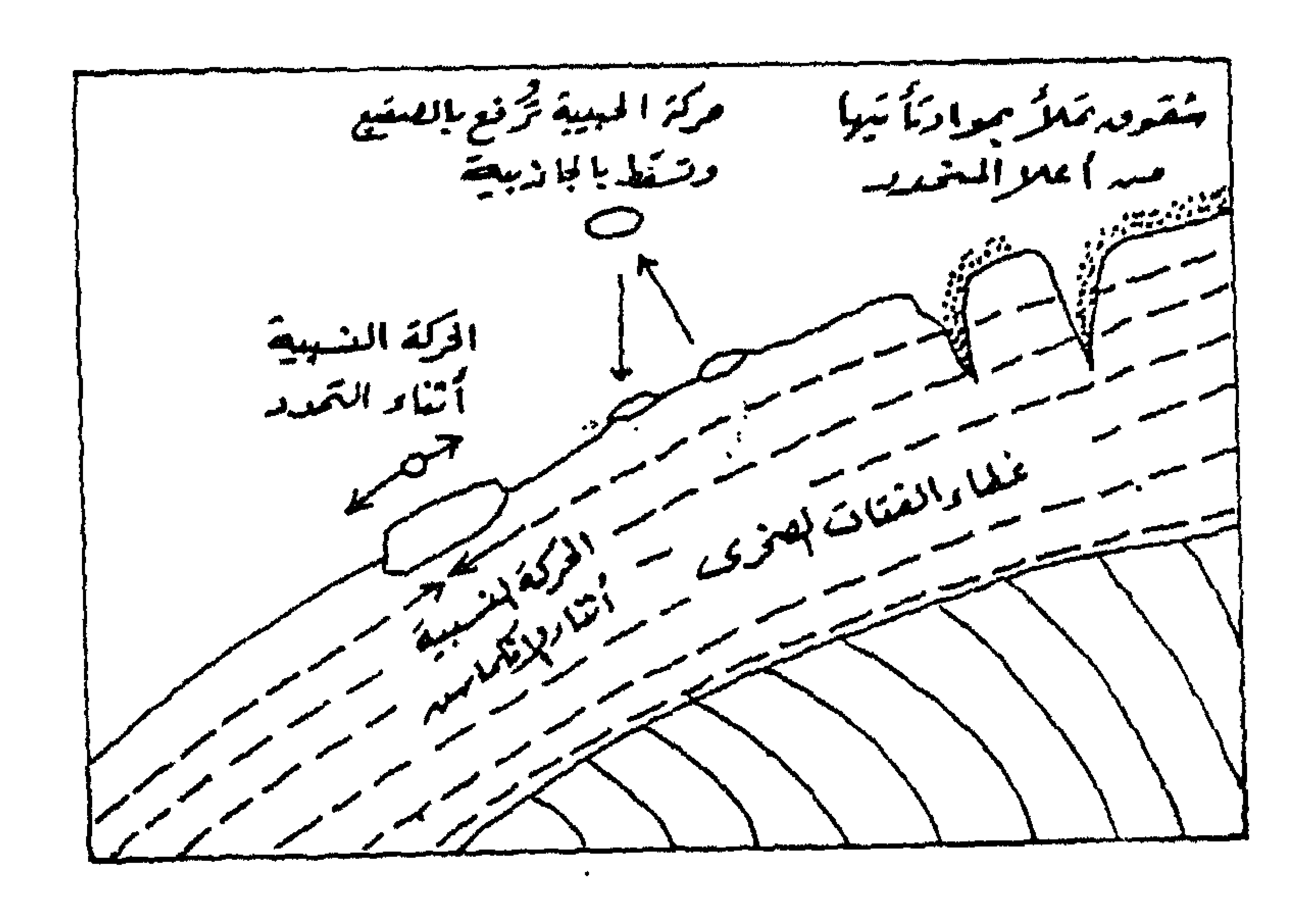
زحف التربة :

لعل زحف التربة Soil Creep هو أكثر أنماط تحرك المواد بالتدفق البطيئ شيوعا وانتشارا . وفيه يحدث تحرك بطيئ للحطام الصخرى ومواد التربة على جوانب المنحدرات بتأثير الجاذبية الأرضية ، ويحدث زحف التربة فى المناطق المعتدلة والحارة على السواء . ويمكن التعرف عليه بظواهر متنوعة نذكر منها : ميل قوائم الأسوار وأعمدة البرق والهاتف وجذوع الأشجار نحو حضيض المنحدر ، وانتفاخ سطح المنحدر نتيجة لتراكم الفتات الصخرى أمام الجدران تجاه قمة المنحدر ، وإنطواء الأرض الخضراء أسفل الجلاميد الزاحف ، ووجود صفوف من الحصى فى التربة السفلى يمكن إقتفاء أثرها إلى مصدرها عند مظهر الطبقة فى مكان بعيد صوب القمة ، وظاهرة الإنثناء الاصطناعى تجاه أسفل المنحدر لأعالي الطبقات المائلة (شكل ١٤٦) .

وقد أمكن التعرف على عدد من العمليات التى يستطيع كل منها أن ينشئ تحركاً طفيفاً جداً ، لكنها حين تجتمع وتتضافر فى تأثيرها تصبح قادرة على إحداث زحف التربة . فمياه المطر تحرك الحبيبات الصغيرة ، وهى بإزاحتها للمواد الدقيقة نحو أسفل المنحدر ، تمهد الطريق لتحرك الحصى والأحجار . وحينما تنمو بلورات الثلج أسفل حبيبات التربة ، فإنها تولد حركة رفع صقيعى تدفع بالحبيبات إلى أعلى مسافة تصل إلى نحو ١٠ سم ، فى اتجاه عمودى على المنحدر ، وتعود الحبيبات إلى السقوط فى اتجاه عمودى أيضاً بتأثير قوى الجاذبية (شكل ١٤٦) . ولانصهار بلورات الثلج ، إذا حدث الانصهار فجأة ، تأثير مهم ، إذ يتسبب فى سقوط الحبيبات وانقلابها أو تدحرجها لمسافة قصيرة نحو أسفل المنحدر . وتتمدد الأحجار بالحرارة فوق المنحدر نحو حضيضه بدرجة أكبر منها تجاه قمته ، وذلك بسبب تأثير قوة الجانبية التى تعاون التمدد تجاه الحضيض ؛ ويكون الانكماش أثناء التبريد فى الجانب المواجه لقمة المنحدر أكبر منه فى الجانب المظاهر له ، نظراً لأن الجاذبية الأرضية تعاون الانكماش فى الجانب



شكل (١٤٦) : أنماط من الشواهد التى تشير إلى زحف التربة .



شكل (١٤٧) : بعض العمليات المسببة لزحف التربة .

الأول . وتصبح محصلة التمدد والانكماش بمثابة حركة بطيئة للأحجار نحو أسفل المنحدر . وتمتلئ الشروخ التى تنشأ نتيجة لتجفيف التربة ، كما تمتلئ الحفر التى تنبشها الحيوانات أو تتخلف عن جذور النبات بمواد صخرية تأتيها من الجانب المواجه لأعلى المنحدر ، وهذا من شأنه أن يساعد فى تحريك التربة وزحفها البطئ . ومن بين القوى الأخرى التى تسهم فى زحف التربة ، تمايل الأشجار ، ووطء الحيوانات ، وعمليات الحرث فى اتجاه الانحدار .

أنماط الزحف الأخرى

وهناك أنماط أخرى لتحرك المواد بالتدفق البطئ كزحف المواد إلى أسفل المنحدر لتكوين المخروط الرسوبى Talus Creep ، وزحف الصخر Rock Creep ، وزحف الصخر الجليدى Rock Glacier Creep ، والأنسياب الأرضى Solifluxion . **وتتميز الأنماط الثلاثة الأولى بتحرك جاف**

لحطام صخرى خشن ، يتم تحت ظروف متباينة نوعاً ما . ففى النمط الأول تتحرك المواد نحو حضيض المرتفع لكى تنشئ مخروط التيلاس أو الأسكرى Scree ، ويتكون الحطام الصخرى الجليدى الزاحف من تدفقات من الجلاميد المختلط بقدر صغير من الفتات الصخرى الدقيق الحبيبات وكمية صغيرة من حطام الجليد . ويتم زحف الصخر ، وهو حركة للكتل الصخرية ، نتيجة لزحف التربة من جهة ، وللإنزلاق من جهة أخرى . أما الإنسياب الأرضى فهو تدفق بطئ نسبياً للتربة وما تحويه من جلاميد . وفيما يلى وصف موجز لكل نمط على حدة :

تكوين المخروط الرسوبى بالزحف البطيئ :

تتحرك المواد الصخرية الكبيرة الحجم نسبياً ، والتى تضم الكثير من الفتات الصخرى الخشن الحاد الزوايا ، ببطء على جوانب المنحدرات الجبلية ، أو الحافات الصخرية ، وتستند على حائط المنحدر نفسه لتكوين شكل أرضى يُعرف بأسم Talus هو فى واقع الأمر نصف مخروط رسوبى Half Cone ، ومواده تعرف بأسم Scree . ويطلق عليه أحياناً اسم Scree ، وبينما يُطلق إسم Talus على المخروط الذى يتكون فى الجهات الجافة وشبه الجافة عند حضيض المرتفعات ، فإن مخروط الإسكرى Scree ، تتميز به الجهات الباردة ، لأن الحصى الخشن الذى يكوّنه يحمل صفات فعل الصقيع ، فهو ناشئ عن التفكك بفعل تجمد المياه وانصهارها فى الجهات الباردة .

ووجود الإسكرى الآن فوق مدرجات الوديان ، وفى ثنايا رواسبها فى منطقة الجبل الأخضر بليبيا ، يشهد على انخفاض الحرارة فى تلك الجهات المعتدلة فى أثناء عصر البلايوستوسين . أما فى داخل الصحراء الليبية ، سواء عند أسافل الحافات الصخرية ، أو عند حضيض واجهات الكويستات ، وكذلك فى أقصى جنوب سهل الجفارة عند أسافل واجهة جبل نفوسة (الجبل الطرابلسى بليبيا) فإن مخاريط التيلاس Talus تبدو ضخمة للغاية ، وتتجاوز وتلتحم أحياناً . وهى مكونة من حطام صخرى

جيرى من صنف الحجر الجيرى الذى يكوّن الحافة والجبل ، وبسبب تساقط الأمطار الشتوية كل عام ، فإن مواد « التيلاس » تتماسك بالمواد الجيرية كمادة لاحمة ، وتكون كتلا من المجمعات الصخرية الخشنة الحادة الزوايا (بريشيا) . وفى المنخفضات الصحراوية ، ومنها منخفضات مصر تُدعى باسم فانجلوميرات Fanglomerate .

وتعوق هذه المخاريط امتداد الزراعة ، لأنها تحتل مناطق فسيحة من السهول الساحلية ، كما هى الحال إلى الشمال من « طوكره » فى شمال سهل بنغازى ، وعلى امتداد السهل الساحلى المتاخم للجبل الأخضر . ونظرا لشدة انحدارها ، فإن ما يتساقط من مواد صخرية من أعلى الجبل يشكل خطورة على امتداد السهل الساحلى الضيق .

زحف الحطام الصخرى الجليدى :

يحدث فى المناطق الجبلية فى العروض المعتدلة الباردة ، حيث يتحرك الجليد ، سواء فى هيئة غطاءات جليدية ، أو قلنسوات جليدية ، أو حتى أودية جليدية على جوانب المنحدرات ، ويدفع أمامه كميات هائلة من الحطام الصخرى ، فتزحف الكتل الصخرية والجلاميد المختلط بمقدار صغير من الفتات الصخرى الدقيق الحبيبات ، إضافة إلى حطام من الجليد، وعندما يصادف منحدراً شديداً يهبط بشدة ، فإذا سقط على أرضية واد معمور أحدث التدمير والتخريب .

زحف الصخر :

تتحرك الكتل الصخرية التى إنْحلّتْ وتفككت من أعالى المرتفعات بواسطة عمليات التجوية ، خصوصا إذا ما كانت تلك الصخور ذات بنيات ضعيفة ، تكثر بها الشقوق والثلوم والفواصل ، وأسطح الانفصال الطبقى، وتبدأ فى التحرك البطيئ فوق منحدرات هينة الإنحدار نسبيا ، ويساعدها فى التحرك عمليات زحف التربة من جهة ، وبواسطة الانزلاق أو الدّحرجة من جهة أخرى .

وكثيراً ما نشاهد عمليات زحف الصخر ، وكذلك زحف الحطام الصخرى الجليدى فى مرتفعات الألب السويسرية وفى جبال مقدمات الألب المشرفة على كل من الهضبة السويسرية ، وهضبة بايرن (باڤاريا) الألمانية ، وهنا نجد أسطح المنحدرات المحدبة ، وقد رُصِّعَبَ بكميات هائلة من الأحجار المتفاوتة الأحجام ، وتُسمى هناك باسم « بحار الأحجار » أو «بحار الجلاميد» Blockmeere .

ويسببُ زحفها البطيئ مشاكل بيئية خطيرة فى الأجزاء المتاخمة لمرتفعات الألب فى كل من هضبتى سويسرا التى يُسمونها « الأرض الوسطى » Mittel Land وهى قلب سويسرا الاقتصادى ، والقسم المعمور من أراضيها ، وكذلك باڤاريا (حاضرتها ميونخ) وهى من أهم ولايات ألمانيا المتحدة .

الإنسياب الأرضى :

الانسياب الأرضى Solifluxion ، أو ما يسمى بالألمانية Bodenflies-sen عبارة عن حركة بطيئة نسبياً للفتات الصخرى الدقيق ، وما يحويه بين ثناياه من كتل صخرية وجلاميد حدث ويحدث تحت تأثير ظروف مناخية باردة ، وفوق منحدرات ذات درجات انحدار هيِّنة تتراوح بين ٢ ـ ٣ درجة .

وهناك ظروف مُواتية لإحداث الإنسياب الأرضى أهمها :

(١) عدم وجود غطاء نباتى . لأن النباتات تعمل على تثبيت المواد ، وتعرقل عمليات التدفق والإنسياب .

(٢) وجود تربة سفلى دائمة التجمد Perma - Frost ، من فوقها مستوى تحدث فيه عمليات انصهار للجليد Freeze and Thaw ، والمياه المنصهرة من جليد التربة تختلط بمكوناتها ، وتعمل على تشحيمها (أوتزييتها) Lubrication ؛ وبالتالى تساعد على تحرك المواد الصخرية .

(٣) نشاط تأثير عمليات التجوية ، وأهمها الميكانيكية «فعل

الصقيع» Frost action في أعالي المرتفعات التي تغطيها الثلوج ، وبالتالي تنشأ مواد جديدة مفتّتة ، تبدأ في التحرك حالما تعمل المياه المنصهرة على « تشحيم » تلك المواد الجديدة .

ولقد كانت لعمليات الإنسياب الأرضي أهمية خاصة في مناطق هوامش الجليد Peri - Glacial ، أي الأراضي المحيطة بالغطاءات الجليدية ، والتي لم تتأثر بوجود الجليد تأثيراً مباشراً ، وإنما كان التأثير غير مباشر، أي بالبرودة الشديدة التي كان يُحدثها وجوده ، وذلك على الخصوص أثناء فترات الجليد في عصر البلايوستوسين .

وعلى الرغم من أن أهمية الإنسياب الأرضي بالنمط الذى سبق شرحه ، قد قلّت في العصر الچيولوچي الحديث (الهولوسين) ، فإن تلك العملية ما تزال نشطة في الأقطار الجبلية المعمورة ، ومنها سويسرا ، والنمسا ، وألمانيا ، وغيرها من أقطار وسط أوروبا وشرقها، وكذلك في النطاقات الجبلية الألبية الحديثة ، في مناطق توزيعها بمختلف القارات . وينشأ عنها تجميع واحتشاد الرواسب ، التي تزحف على مناطق العمران ، وهي في هذا تشبه - والقياس مع الفارق - زحف الرمال على المناطق المعمورة في الواحات المبعثرة في الصحارى وأشباه الصحارى .

تحرك المواد بالتدفق السريع

تعتمد حركات التدفق السريع إلى حدّ كبير على « تشحيم » محكم بالمياه للمواد المتحركة . ومن هنا تأتي سرعة التدفق ، وتتفوّق على سرعة تحرك المواد بالإنسياب البطيئ . وطبيعي أن تزداد السرعة بإزدياد درجة الإنحدار .

والتدفق الأرضي (مواد غير متجانسة) Earth Flow ، والتدفق الطيني Mud Flow ، تعبيران يستخدمان للتعبير عن نمطين رئيسيين من أنماط التدفق السريع . ويرتبط بكلا النمطين تدفق المواد الرطبة ، أي

المواد المشبّعة بالمياه ، ولكن التدفقات الطينية عادة تحدث فوق منحدرات أشدّ ، وتكون موادها أكثر احتواء وتشبعا بالمياه ، كما أنها أكثر سرعة فى تحركها من التدفقات الأرضية .

التدفقات الأرضية :

وتختص بها المناطق الجبلية فى أوروبا (جبال الألب) وفى أمريكا الشمالية (الروكى ، وأبلاش) . وهى تكون ذات أهمية خاصة فى المصاطب النهرية التى تكتنف أودية بعض الأنهار ، كالتى تحازى نهر سانت لورانس وروافده . وأنهار الراين ، والإلب ، والأودر ، والفيزر ، والفستيولا . فكثيراً ما تتشبع بالمياه طبقة صلصالية تقع أسفل (أى ترتكز عليها) رمال وحصى المصطبة . فتتدفق كتلة مواد الطبقتين إلى مجرى النهر . وإذا حدث وكان الانحدار شديداً ، **فمن الممكن أن تصاحب هذا النمط من تحرك المواد درجة متزايدة من الإنزلاق .**

ولمثل هذه التدفقات خطورتها على الملاحة النهرية ، وكلها أنهار ذات أهمية كبرى فى حمل الخام والسلع بين مراكز التعدين والتصنيع فى وسط أوروبا وبحر الشمال والبحر البلطى ، وكذلك على امتداد نهر سانت لورنس والبحيرات العظمى حيث يتمركز أعظم إقليم صناعى فى العالم .

التدفقات الطينية :

تعتبر التدفقات الطينية من خصائص السفوح الأشدّ انحداراً ، التى فوقها تسقط الأمطار الغزيرة ، فتُسبب تحركاً لطبقة سميكة من المواد المتحللة ، فى منطقة تخلو من غطاء نباتى كثيف . ومثالها التدفق الطينى المعروف بتدفق « سلام جوليون » Slumgullion Flow الذى حدث فى مرتفعات سان جوان San Jwan فى ولاية كولورادو . وقد سبق التدفق تساقط صخور بركانية متجوية ، ومشبعة بالمياه ، تلاها تدفق الطين الذى تحرك نُزُلاً لمسافة عشرة كيلو مترات من ارتفاع ٨٠٠ متر على منحدر درجة انحداره خمس درجات .

والتّدفُّقات الطينيّة معروفة فى جهات متعددة من المناطق الجبلية فى مختلف جهات العالم . وتعانى من أثارها المدمرة دول مثل سويسرا ، وألمانيا ، والنمسا ، وفرنسا ، ودول الشمال الأوروبى كالنرويج . وتأتى الأضرار من تدفق المواد الطينية بكميات ضخمة وغزوها للمناطق السهلية المأهولة بالسكان فتغطيها بغطاء يختلف فى سمكه حسب كمية الوارد مع التدفق واستمراريته .

انهيار الفتات الصخرى :

وهذا نمط ثالث من أنماط التدفق السريع للمواد الصخرية يُعرف بانهيار الفتات الصخرى Debris Avalanche . وهو أكثر شيوعاً فى المناطق الرطبة ، مع وجود غطاء نباتى كثيف ، ويحدث فوق المنحدرات الشديدة ، **ويتضمن الإنهيار تدفقا وانزلاقا فى نفس الوقت** . ومن ثمّ يصبح تحرك المواد وقد دخل فى مجال ما يُسمّى «الإنزلاق الأرضى» Land Slide.

تحرك المواد بالإنزلاق

تتناول عملية « الإنزلاق » (الزحلقة) المواد الصخرية الجافة على وجه الخصوص ، وتحدث عادة بسرعة ، ويدخل ضمنها **تساقط وانزلاق الصخر** والدّبْش Rock Fall and Rock Slide وكذلك **الفتات الصخرى** Debris Slide . ولكن أكثر التحركات الخاصة بالمواد عن طريق **الإنزلاق** هى **الإنزلاقات الأرضية** Land Slides أى غطاء التجوية كله . ولما كانت سرعة التحرك لا تتناقص تجاه أسفل المنحدر ، فإنه لابدّ من وجود سطح على امتداده يحدث الإنزلاق ، ممثلا لسطح طبقة صخرية سفلى محكمة التشحيم أى مشبعة بالمياه .

ويحدث تحرك المواد بالإنزلاق Land Slides فوق منحدرات شديدة الإنحدار جداً ، خصوصا فى المناطق الجبلية التى أصابها فعل الأودية

الجليدية ، التى أكّدت وعورة سطحها ، وفى المناطق التى تجدّد شباب النحت بها ، وعلى واجهات الحافات الصخرية شديدة الانحدار . وغالبا ما تُكوّنُ المواد المنزلقة مخروطات Talus درجة انحدارها حوالى ٣٥° ، وهى زاوية استقرار الحطام الصخرى الخشن الحاد الزوايا Scree . ويستقر الحطام الصخرى الكبير الحجم عند أسافل المخروط ، بينما تبقى المواد الدقيقة قرب قمة المخروط . وكأن سرعة تحرك المواد واختلاف تلك السرعة تبعاً لأحجامها ، قد أحدثت نوعاً من الفرز ، بحيث تبقى المواد الأقل حجما، وهى الأقل سرعة ، عند قمة المخروط ، بينما الكتل الصخرية الكبيرة الحجم ، تستطيع بقوّة الدفع التى اكتسبتها أثناء التزحلق ، أن تُسرع إلى أقدام المخروط وتستقر .

وهناك درجة أعلى من التزحلق تسمى « **التساقط الحُرّ** » Free Fall. **الذى يحدث على جروف ومنحدرات شديدة الإنحدار جدا** . فحالما تتم تجوية الصخر بواسطة عمليات التجوية مثل أَسْفَنَةَ الصقيع ، فإن الأجزاء المحطّمة المنحلّة من الصخور تنزلق أو تتزحلق أو تسقط مباشرة إلى حضيض المنحدر ، ولهذا تظل واجهة الحافة الصخرية مكشوفة عارية تماما من أىّ غطاء تجوية . بينما الكتل الصخرية التى استقرت عند قدم المنحدر تتعرض للتجوية الميكانيكية .

التزحلق المتتابع Rotational Slipping :

وهو نمط من تحرك المواد فوق المنحدرات بواسطة التزحلق أو الإنزلاق ، لكنه يكون مصحوباً فى معظم الحالات بنوع من التدفق Flowage . ويحدث حينما تنشأ كتلة من المواد المجوّاه فى أعلى المنحدر ، وتظلُّ تنمو وتتضخم ، إلى أن تفقد اتزانها ، ربما بمساعدة مياه طارئة . فيحدث حينئذ أن ينزلق أو يتزحلق القسم العلوى من كتلة المواد على امتداد سطح انزلاق يبدو بشكل مقعر ، وبعدها يحدث انزلاق تالٍ للقسم العلوى من الكتلة على امتداد سطح انزلاق ثان له نفس المواصفات . وتتوالى على التتابع الإنزلاقات على أسطح انزلاق متتالية الكتل المنزلقة

بالتتابع ، بهيئة درجات متتالية .

وتتأثر الجروف الساحلية بجنوب انجلترا فى وقتنا الحاضر بالتزحلق المتتابع ، خاصة فى النطاقات التى تتألف من تراكيب صخرية من الطباشير ترتكز على « صلصال جولت » Gault Clay .

هذا وتنبغى الإشارة إلى أن المقصود من هذا التّصنيف ، كغيره من تصنيفات الظواهر الطبيعية ، مجرد التمييز للتبسيط ، وتسهيل الدراسة ، فالعمليات متداخلة، ولا يوجد حدّ واضح بين مختلف أنماط التدفق ، كما لا يوجد فاصل حاد بين التدفق والإنزلاق .

كوارث تحركات المواد الصخرية على المنحدرات

تعانى كل المناطق الجبلية فى مختلف النطاقات المناخية على وجه الأرض من كوارث تحركات المواد الصخرية على منحدرات جبالها ، فكل نطاق مناخى يتميز بظواهر تساعد على حدوث نمط من أنماط تحرك المواد، سواء كان التحرك بطيئاً أو مسرعاً أو مفاجئاً ، وسواء كانت المواد جافة أو مشبعة بالرطوبة .

والأمثلة لا تحصى عدًا : فإذا ما استثنيا الأقاليم الجافة ، حيث لا تشكل تحركات المواد على المنحدرات خطورة ، بسبب خلو تلك الأقاليم من العمران باستثناء منخفضات الواحات التى تعانى من زحف الرمال بصفة خاصة ، فإن كل الأقاليم الجبلية الرطبة ، التى تتضمن أودية وأحواضاً مأهولة بالسكان ، تتعرض لكوارث غزوات المواد المتحركة على المنحدرات إلى حضيضها حيث العمران .

مثال ذلك وادى الرون فى سويسرا . فبعد أن يمر النهر بمدينة «مارتنى» Martigne يشق طريقة خلال سلاسل جبال « بيرن » Berner

Oberland الجيرية . وهو فى هذه المسافة بين المدينة المذكورة وحتى بلدة بيكس Bex ، يجرى فى واد ضيق تكتنفه الجبال العالية . وفى الوادى ينتشر العمران فى هيئة قرى صغيرة ، ومزارع محدودة ، تُهدّدها باستمرار جميع أنواع **تحرك المواد على المنحدرات . ومثل هذا يُقال عن أودية الراين** ، والليمات ، Lemat ، والرويس Ruess . والآرى Aare .

وعلى امتداد الطرق الجبلية ، تجدُ دائما شباكا من أسلاك الصلب تُغطى أسطح المنحدرات من أعلاها إلى أسفلها ، كما تشاهد لافتات تحذّر ركاب وسائقى السيارات من التساقط الصخرى ، وانهيالات الفتات الصخرى ... ويُعدُّ السويسريون خبراء فى معالجة أخطار الانهيالات الصخرية ، وتوفد إليهم البعثات للوقوف على ما استجدّ من وسائل الحماية وتقليل الأخطار، ولا يكاد يمرّ يوم دون أن نقرأ فى الصحف السويسرية عن كوارث تحرك المواد خصوصا منها السريعة المفاجئة ، وغالبا ما يكون الخبر تحت عنوان:« Der Berg Kommt » والمعنى الحرفى « جاء الجبل » والمقصود بطبيعة الحال «كارثة تساقط صخرى» أو « انهيار حطام صخرى ... الخ » .

وأمثلة تحرك المواد الضّارة فى **وطننا العربى** كثيرة ، ولا يخلو منها قطر عربى ، فجميعها تتضمن أراضيها جبالا ، على منحدراتها تتحرك المواد ، وتُسبب الكوارث المحلية ، **ومنها المناطق الجبلية فى غرب وجنوب غرب المملكة العربية السعودية** ، التى تعانى من الإنهيارات والتساقط الصخرى إلى أسافل الجبال حيث الطرق ، وبعض مناطق العمران ، فقد حدث على سبيل المثال انهيار صخرى على أحد الجسور الضخمة الواقعة على طريق عبقة الباحة فى منطقة الباحة ، فانهار الجسر ، وقُتل خمسة أشخاص ، وسقطت بسببه شاحنة فى الوادى فتحطمت بمن فيها ، ولهذا فإن الطرق الجبلية معرضة دائماً للخطر ، وكذلك القرى والمبانى التى تقع بجوار **سفوح الجبال فى الحجاز وعسير ، وامتداد جبال عسير فى هضبة اليمن** . وقد سبق لنا ذكر كوارث تحركات المواد فى أودية **الجبل الأخضر** ، وعلى منحدراته فى الجنوب إلى سهل البلُط ،

وفى الشمال إلى سهل البحر المتوسط ، وكذلك الحال فى **سهل الجفارة** الذى تشرف عليه حافة جبل نفوسه ، وامتداد السهل فى **تونس** حيث تشرف عليه جبال أطلس ، وكذلك **سهول الجزائر الساحلية ووديانها** ، والمملكة المغربية أيضاً .

أما فى مصر فإن كوارث تحرك المواد محصورة فى جهات معلومة ، حيث أمكن التعمير وإقامة عمران فوق مناطق معرضة للإنهيار ، أو فى ظلّ حافات يصيبها التفلق والتصدع .

وقريب إلى الأذهان ما حدث بمنطقة **هضبة (جبل) المقطم بالقاهرة**، وكان ذلك فى شهر ديسمبر عام ١٩٩٣ ، حيث إنْشقّ قسم من حافة الهضبة ، وهبط فجأة ، وكانت ضحيته خمسين قتيلا ، عدا الخسائر الفادحة التى مُنّىَ بها الأفراد . وهضبة المقطم هضبة جيرية التكوين فى معظمها . وقد جرى استخدامها للعمران منذ نحو أربعة عقود ، ومن الواضح أن البنية التحتية مهترئة ، سيئة الإنشاء ، ومياه الصرف ، وكذلك المياه العذبة ، وسوء استخدامها أثرا بالإذابة السريعة فى صخر يقبل الكربنة ، ويتحول إلى بيكربونات كالسيوم تذوب فى الماء بسرعة ، فضلا عن كثرة الشقوق والشروخ والفواصل التى أدت وتؤدى إلى تدهور الصخور وتفككها ، ومن ثم تصدع المنشآت والأبنية ، وتراجع حافات الهضبة بانفصال أجزائها وانهيارها .

وتتعرض **هضبة الأهرام** ذاتها ، لمثل ما تتعرض له هضبة المقطم ، وهذه المرة يبدو الخطر مزدوجاً : **على البناء الأثرى الخالد وهو الأهرام** الذى يقترب بالتدريج من حافة المنحدرين الشمالى الشرقي والشرقى ، وذلك بسبب تراجعهما المستمر ، عن طريق التفلق والتكسر ثم الانهيار ، وذلك بسبب نشاط عمليات الإذابة والكربنة فى صخور الهضبة الجيرية . وقد تحطم قسم من سور استراحة الملك فاروق بالهرم ، نتيجة للانهيار الدائم والمستمر لمنحدر الحافة المجاورة .

والخطر الثانى على قرية نزلة السمان الواقعة إلى الشرق من هضبة الأهرام ، والتى زحف عمرانها حتى أسافل منحدرات الهضبة الشرقية والشمالية الشرقية . وهذه لا شك تتعرض لانهيالات صخرية ، فأعالى المنحدرين مهترئة ، تبدو فيهما الكتل الصخرية منفصلة معلقة ، تنتظر السقوط المفاجئ .

الخسف الأرضى وكوارثه

ونقصدُ بالخسف S ubsidence هبوط سطحى لمنطقة تختلف فى المساحة وفى مقدار الهبوط بالنسبة للأراضى المحيطة ، بحيث تُكوِّنُ منخفضا تَحدُّهُ حافات شديدة الإنحدار فى العادة . وتنشأ عن الهبوط المفاجئ كوارث بشرية ، إذا ما حدث فى منطقة مأهولة بالسكان ، أما إذا كان الهبوط بطيئا ، لكنه محسوس ، فإنّ كوارثه تنحصر فى الهجرة والنزوح ، وما يترتب على ذلك من أضرار بالمهاجرين .

ولما كانت عمليات الهبوط تحدث فى مناطق محدودة ، وفى كثير من الأحوال فى مناطق غير مأهولة ، خصوصا فى الجهات الصحراوية وشبه الصحراوية ، فإن كوارثها محدودة ، ولا تثير الاهتمام مثلما تفعل تحركات المواد التى سبق لنا ذكرها ، والتى تنتشر وتشيع كوارثها فى معظم أقطار العالم .

وتحدث عمليات الهبوط السطحى نتيجة لعوامل وعمليات طبيعية وأخرى بشرية ، وهى عمليات متعاونة متشابكة .

وتتمثل العوامل والعمليات الطبيعية والبشرية فيما يلى :

ـ عمليات الإذابة والكربنة فى مناطق الصخور الكربونية ، أى تلك الأراضى التى تتكون من صخور جيرية كيميائية أو عضوية ، خصوصاً منها الصخور الطباشيرية ، وكلها صخور تكثر بها الفواصل والشقوق ، فضلا عن سطوح الانفصال الطبقى . وتحدث عمليات الإذابة

والكربنة فى السهول والهضاب والمرتفعات التى تتكون من تلك الصخور . لكن يهمنا فى عمليات الهبوط تلك الأسطح المستوية ، وبالتالى تصبح تلك الطبقات كأسقف معلقة ، وينشأ عن ذلك اختلال توازنها **فتهبط فى وضع رأسى بما عليها من عمران وسكان ، وهنا تحلُّ الكارثة .**

والواقع أن الخسف على نطاق واسع لا يحدث فجأة فى غالب الأحيان ، وإنما تسبقه تشققات وتكسرات وتفلّق هنا وهناك فى مناطق السقوف المعلقة ، نتيجة لفعل المياه وسريانها خلال الشقوق والفواصل وسطوح الإنفصال الطبقى وإذابتها للصخور الجيرية ، فتنشأ **فجوات وكهوف** باطنية ، تزداد عددا واتساعا بمرور الوقت ، وتوالى سقوط الأمطار، **واستخراج الموارد الاقتصادية** . ومنها **السحب الجائر أو الزائد للمياه الجوفية والبترول والغاز الطبيعى** ، **وحينئذ يكون الهبوط تدريجيا** ، كلما خلا مكان تلك السوائل والغازات ، لكن **الخسف يتم بسرعة عند استخراج المعادن الصلبة كالحديد والنحاس والفحم والمنجنيز** . وكثيراً ما نسمع عن كوارث هبوط وتدهور مناجم تعدين على رؤوس مئات العمال بداخلها ، فتذهب أرواح معظمهم ، لأن عمليات الانقاذ لا تُسعفُ معظمهم .

وينتشر حدوث عمليات الإذابة والكربنة ، وتكوين **الفجوات والكهوف والمجارى المائية الباطنية** ، ومن ثمّ إمكانية حدوث الهبوط الأرضى السطحى ، فى كثير من أقطار العالم التى تتكون أراضيها أو أجزاء منها من صخور كربونية ، وتعرف تلك المناطق باسم « الكارست » Karst نسبة لهضبة الكارست فى يوغوسلافيا التى توجد بها هذه الظواهر بصور مثالية ، كما تنتشر فى إقليم كوسى Sausses فى جنوب شرق الهضبة الوسطى فى فرنسا ، وهضبة كنتاكى Kentucky فى الولايات المتحدة الأمريكية ، وشبه جزيرة يوكاتان Yukatan بأمريكا الوسطى ، ومنطقة بنّاين Pennine بانجلترا ، والجورا بسويسرا وفرنسا ، والألب الأمامية ، ومنطقة منديب Mendip . وقد أمكن حصر ٦٠ ألف بالوعة إذابة

فى هضبة كنتاكى وحدها ، هذا عدا الكثير من الكهوف الباطنية ، مما يسبب عمليات هبوط متكررة .

والكهوف عبارة عن دهاليز طبيعية تمتد أسفل سطح الأرض امتداداً أفقياً ورأسياً ، وتنشأ عن حركة المياه خلال الفواصل والشقوق وسطوح الانفصال الطبقى ، مذيبةً للصخور الجيرية . ويعظم فعل المياه حينما تغزر الأمطار مكونة لأنهار باطنية تعمل على توسيع الفواصل وسطوح الانفصال الطبقى ، بواسطة الإذابة والنحت ، مكونة للكهوف الضخمة . مثال ذلك كهف كارلس باد Carlsbad (نيومكسيكو) الذى يبلغ طوله ٤٠٠٠ متر ، واتساعه ٦٠٠ متر ، وارتفاعه ٣٠٠ متر .

ومن الكهوف ما هو عميق ، فلكى تصل إلى كهف سان مارتين San Martin الواقع فى أعلى مرتفعات البرانس بالقرب من الحدود الفرنسية الأسبانية ، تدخل إليه عن طريق مدخل رأسى يصل عمقه إلى نحو ٣٠٠ متر ، وأعمق كهوف فرنسا هو الكهف المعروف باسم بئر الراعى Puits Berger بمقاطعة إيزير Isere ، ويقع على عمق ١٠٠٠ متر ، ويقال إنه أعمق كهوف العالم .

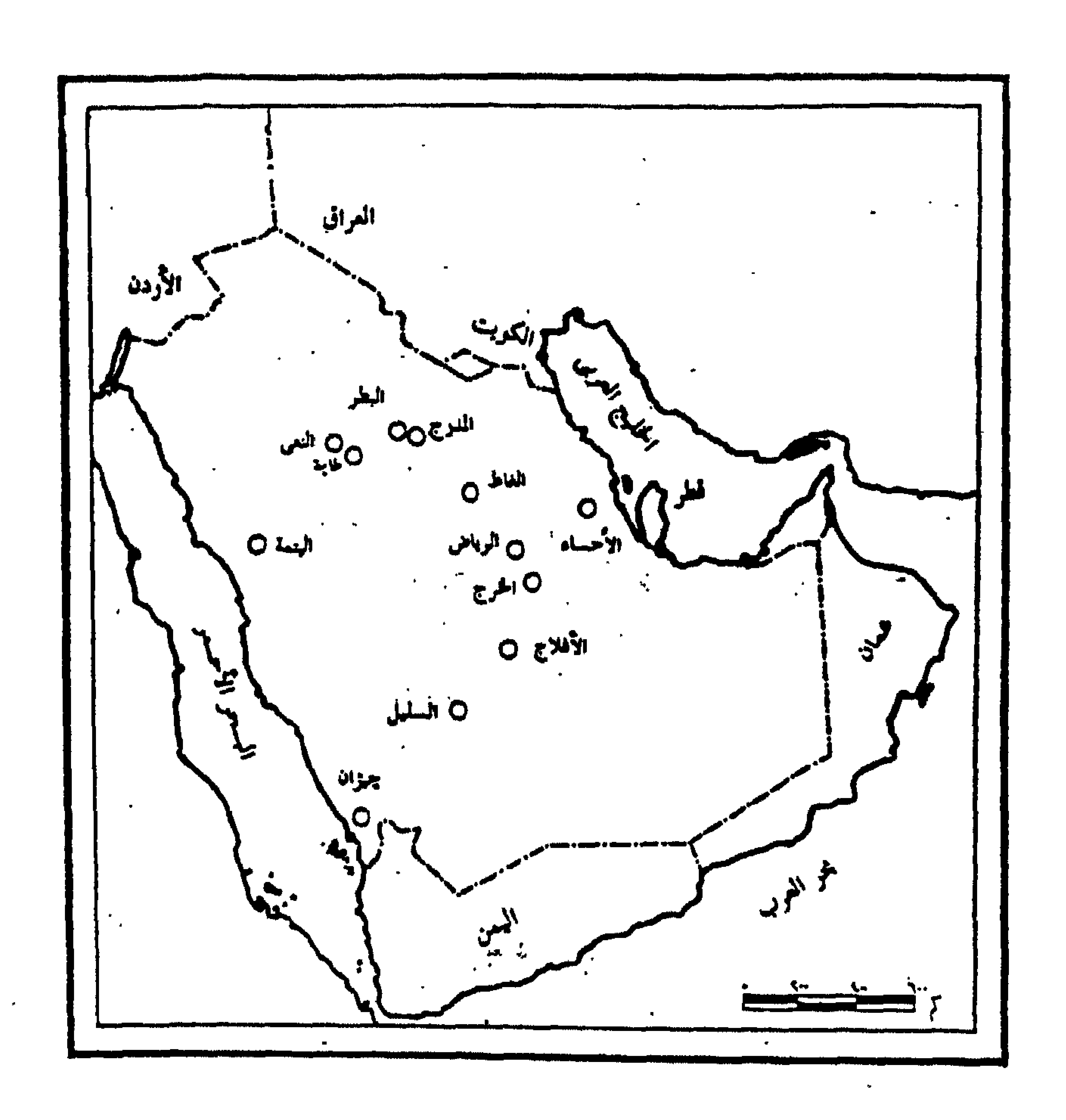
مخاطر الهبوط (الخسف) الأرضى فى عالمنا العربى

فى المملكة العربية السعودية :

تزخر أراضى المملكة بعدد غير قليل من عمليات الهبوط والتشقق والتفلق . وتتوزع تلك الظواهر فى أجزاء متناثرة من أراضيها . ويرجع بعض هذه العمليات والظواهر إلى عُصور مطرولّتْ وانتهت ، والمطر الآن ، ومياهه هى المسئولة أصلاً عن تكوين هذه الظواهر ، ويزيد من حدّتها ومن خطرها **عامل طبيعى حالى** يتمثل فى الأمطار الفجائية والسيول ، **وعامل بشرى** ، وهو استخدام الإنسان للأرض ، وأستنزافه للثروة المائية الباطنية ، والثروة المعدنية المخبوءة تحت السطح ، والمتمثلة على الخصوص

فى البترول والغاز الطبيعى .

وتكثر التشققات والتصدعات والخسوف الأرضى فى المناطق الآتية : السليل ، الأفلاج ، الخرج ، الاحساء ، الرياض ، طابه ، النعى ، البطين ، المدرج ، جيزان ، اليتمة (جنوب المدينة المنورة) .



شكل (١٤٨) : المناطق المعرضة لكوارث الهبوط (الخسف) والتصدع فى المملكة السعودية

(عن : ابراهيم سليمان ، ١٩٩٦ ص ٢٠٠) .

وما حدث ويحدث فى **السليل** من هبوط أرضى هو نتيجة لوجود كهوف باطنية نتيجة لإذابة الصخور الجيرية فيما مضى ، واستمرار حدوثها ببطء فى وقتنا الحالى ، وتآكل صخور أسقف الكهوف ، ثم انهيارها وهبوطها ، والمنطقة التى حدث بها الخسف لم تكن مأهولة بالسكان وبالتالى لم تحدث كارثة بشرية .

أما منطقة **الأفلاج** فمعمورة ومأهولة بالسكان ، وبها مساحات واسعة هابطة ، وتتوسطها أعداد كثيرة من العيون المائية ، والبحيرات الصغيرة . ويبلغ عدد العيون سبع عشرة عيناً . والسبب فى الهبوط يرجع إلى عمليات كربنة وإذابة لصخور جيرية سفلى ، وكذلك لصخور مجموعة « الهيت » المكونة من الأنهيدرايت Anhydrite والجبس ، وكلها صخور تقبل الإذابة والكربنة ، ويبلغ سمكها أكثر من ٢٠٠ متر ، ونتيجة لذلك تكونت فجوات وكهوف واسعة تحت سطحية ، وأصبحت التكوينات العليا بمثابة سقف بلا أساس ، فانهارت وهبطت ، مكونة لقيعان عيون الأفلاج . وتتفاوت مساحات العيون (عيون أو بحيرات الأفلاج) ما بين ٢١٠٠ متراً مربعاً (وهى عين أو بحيرة الفضول) إلى ٩٥٠٠ متراً مربعا (وهى عين أو بحيرة الباطن) بل إلى ٢٨٠٠٠ متراً مربعاً (وهى عين أو بحيرة الراس) .

وقد حدثت كوارث التشقق والهبوط لقريتين معمورتين هما **طابة والنعى** فى منطقة الحائل ، وإلى الجنوب الشرقى من **مدينة حائل** فى شمال السعودية ، وذلك بسبب ضخ المياه الجوفية بكثرة للأغراض الإنشائية والزراعية ، وقد تمّ نقل أهالى القريتين إلى مواقع آمنة وقريبة من مواقع مساكنهم بالقريتين اللتين أصاب أراضيهما التفلق والهبوط .

وتقع مدينة « **جيزان** » فى أقصى الجنوب الغربى من المملكة العربية السعودية ، ومشرفة على ساحل البحر الأحمر . وتتعرض مبانيها فى وقتنا الحالى ، كما تعرضت فى الماضى للتصدع ، نتيجة للهبوط الذى

يصيب أراضيها . وقد دلت الأبحاث على أن السبب فى الهبوط وجود قبة من الأملاح أسفل السطح ، فحالما تتعرض الأملاح للإذابة البسيطة بالماء العادى العذب ، تصبح محلولاً ملحياً يتحرك مع المنحدر ، ويترك مكان الملح خالياً ، فتهبط الطبقة الصخرية العليا التى تحمل مبانى المدينة بمن يعيشون فيها .

وفى **واحات الأحساء** فى شرق المملكة السعودية ، حدث هبوط سطحى لبعض من مناطقها ، وذلك بسبب التوسع الكبير فى مشروعات الزراعة المعتمدة على الضّخ الجائر للمياه الجوفية ، إضافة إلى وجود كهوف وفجوات تحت سطحية ، والتصدع والهبوط السطحى هناك ، خصوصا فى أجزائها الشمالية الشرقية والشرقية ، يسببان مشاكل خطيرة للسكان الآخذين فى النمو المستمر ، خصوصا وأن المياه الجوفية هى مياه حفرية قديمة ، ولا تعويض لما يُضخُّ منها بسبب ظروف المناخ الجاف السائد الحالى .

مخاطر الهبوط السطحى فى مصر :

هناك عدة أمثلة للهبوط السطحى **لأراضى الواحات فى منخفضات مصر الغربية** ، بسبب عمليات السحب الجائر للمياه الجوفية، وهى مياه حفرية قديمة ، تعود لفترات المطر فى أواخر الزمن الثالث وأثناء عصر البلايوستوسين . وقد جرى حفر الكثير من الآبار العميقة لضخّ كميات كبيرة من المياه ، لاستزراع نحو خمسين ألف فدان ، فيما كان يُعرفُ بمشروع الوادى الجديد ، والذى بدأ العمل به فى أوائل ستينيات هذا القرن العشرين ، ونتيجة لاستنزاف المياه الجوفية التى يستحيل تعويضها، أخذت الآبار فى النضوب من جهة ، وعمليات هبوط « وتربيح » للطبقات السطحية من أراضى الواحات من جهة أخرى . ولعل توصيل مياه النيل إلى الواحات فيما يُعرف الآن بمشروع « توشكا » يحل مشكلات الهبوط والتصدع الأراضى ، كما يُوفّر المياه لسقاية ملايين الأفدنة الثلاث المزمع استزراعها على مياه النيل .

مشكلة هبوط أراضى الدلتا المصرية :

وهذه ، فى اعتقادنا ، مشكلة ينبغى عدم التقليل من خطورتها . فمن المعروف أن دلتا النيل قد تطورت حدودها الشمالية أثناء عصر البلايوستوسين ، وأخذت فى النمو حتى صارت بحدودها الحالية منذ العصر الحجرى الحديث ، وكانت الدلتا حتى إدخال نظام الرى الدائم ، فى عهد محمد على ، فى نمو مستمر ، رغم بطئه الذى كان يزداد بازدياد حجز المياه ، وترسيب الطمى أمام السدود والقناطر ، وفوق قيعان الريّاحات والترع . ومنذ إنشاء السدّ العالى توقف النمو تماماً ، ثم شرعت سواحل الدلتا على البحر المتوسط فى التراجع بواسطة النّحْر الذى تمارسه أمواج البحر ، بمعدلات سنوية خطيرة ، لاسيما فى الرؤوس البارزة التى لاشك ستتم إزالتها ، ما لم تجر حمايتها بطريقة أو بأخرى ، على نحو ما هو معمول به فى حماية أراضى هولندا من غوائل البحر . والجهود فى هذا السبيل مستمرة ، ونرجو أن تكون مثمرة .

والمشكلة الأخرى ، ولعلها الأهم ، هى مشكلة هبوط أراضى شمال الدلتا بمعدل مقداره ٢ ملم كل عام (سنتميتر واحد كل خمسة أعوام) ، ويستهين بعض الچيولوچيين فى مصر بهذا القدر ، قياسا على ما يصيب دلتا المسيسيبى من هبوط مقداره ١٠ ملم كل سنة (خمسة سنتميترات كل خمسة أعوام) ناسين أو متناسين أن الفرق شاسع بين ما تستفيده دلتا النيل من حمولته الآن ، وهو مقدار ضئيل بعد إنشاء السدّ العالى ، وبين ما يُضاف من مواد إلى دلتا المسيسيبى من حمولته التى تبلغ ٣٤٠ مليون طن مواد عالقة ، و ٤٠٠ مليون طن حمولة جرّ ، و ١٣٦ مليون طن حمولة مذابة ، ودلتا المسيسيبى تنمو وتتقدم فى البحر ، وتقتطع من خليج المكسيك ٧٦ متراً كل عام . كما ينبغى أن نذكر أن حركات الهبوط فى شمال مصر مؤكدة تاريخيا ، وأثرت فى زيادة مساحة البحيرات الشمالية ، وتتجلى هذه الحقيقة فى بحيرة المنزلة على الخصوص ، وذلك بكثرة الجزر فى البحيرة ، وآثار البلاد والقرى التى كانت مزدهرة قديماً ،

مثال ذلك مدينة «تانيس» التى كانت حاضرة الوجه البحرى فى الأسرة الفرعونية الواحدة والعشرين ، وكانت تقع بالقرب من « صان الحجر » الحالية ، ومدينة «تنّيس» التى كانت تقع جنوب غرب بورسعيد .

هذا ويُوصى بعض الچيولوچيين باستخدام مخزون المياه الجوفية بالدلتا ، الذى يُستفاد منه حاليا فى حدود ٥ر٢ مليار م ٣ ، إذ يمكن زيادة المستخدم منها إلى ٥ مليارات بل إلى سبعة مليارات متراً مكعباً ، دونما خوف ، كما يُقال ، من غزو مياه البحر للدلتا ، تبعا لما أشارت به الأبحاث الحديثة . وإذا كان هذا الرأى فى صالح توفير كميات إضافية من المياه العذبة لسقاية أراضى جديدة فى شرق الدلتا وفى غربها ، فإنه فى غير صالح أراضى الدلتا ذاتها ، التى لا محالة ، تتعرض للهبوط بمقدار ليس فى استطاعة المؤلف تقديره ، يُضافُ إلى التقدير المتفق عليه وهو ٢ ملم كل عام ، أضف إلى ذلك أن منسوب مياه البحار العالمية ، ومنها البحر المتوسط يرتفع كل عام بمقدار ٥ر١ ملم .

وللقارئ أن يتصوّر مقدار الكارثة ، لو استمر الهبوط بهذه المعدلات، إذن لفقدت مصر فى فترة ليست بالطويلة كل شمال الدلتا ـ لاقدّر الله ـ ولوجب تهجير ملايين المصريين من شمالها الذى سيصير قسما من الرف القارى تحت مياه البحر المتوسط .

فى بلاد عربية أخرى :

كما سبق أن قلنا ، يكاد لا يخلو بلد عربى من ظاهرة الهبوط السطحى المحلية أو الإقليمية ، ذلك أن بلدان العرب لا تخلو من تراكيب صخرية جيرية . وأنها تعرضت فى الماضى لظروف مطيرة مؤثرة ، ولا يزال بعضها يحظى بكميات لا بأس بها من مياه المطر الشتوى ، مثل بلدان شمال غرب أفريقيا العربية ، وكذلك فى شمالها ، **فى ليبيا** ، حيث تكثر الظواهر الكارستية : بالوعات إذابة ، وأوڤالا ، وبولج . وتكثر بمنطقة الجبل الأخضر وسهل بنغازى الكهوف ، والمغارات ، والمجارى المائية

الباطنية ، ومنها كهف « الغدير » (الليثى) وكهف الجبخ ، وغيرهما كثير . ولا شكّ أن للظواهر الكارستيّة تأثيراتها فى عمليات هبوط تصيب الأرض محليا .

وفى لبنان تكثر الكهوف والمغارات ومنها : نبع الشتوانى ، وعاقورا، والمعزة فى كسروان ، ومشمش فى جبل الزعرور بالمتن ، وبلعه فى جبل اللقلوق ، وفوار عين داره ، وفوار أنطلياس بالمتن ، ومغارة بعقلين . لكن أهم وأكبر الكهوف الجيرية حجما هو كهف أو مغارة جعيتا ، وهى المغارة التى تقع فى القسم الأدنى من نهر الكلب على مسافة ٢ كم إلى الشمال من بلدة بكفيا ، وعلى بعد ١٨ كم من بيروت .

وتستخدم المغارات ، والظواهر الكارستية الموجودة ، وكذلك تلك الظواهر الموجودة على السطح ، كعناصر جذب سياحى فى لبنان ، ومع هذا ، فينبغى توخى الحذر من أخطار طبيعية سواء بداخل المغارات أو بخارجها .

ولا شك أن الهيئات المسئولة بكل البلدان التى تواجه أخطار تحرك المواد على المنحدرات ، وعمليات الخسف أو الهبوط الأرضى السطحى ، تبذل الجهود فى سبيل الوقاية من كوارثها .

المراجع

أولا : المراجع العربية :

- إبراهيم محمد بدوى (١٩٨٧) الخريطة الجيومورفولوجية للمنطقة الممتدة فيها بين برج العرب والحمام وتفسيرها . رسالة ماجستير غير منشورة ، قسم الجغرافيا ، كلية الآداب ، جامعة الإسكندرية (بإشراف المؤلف)

- إبراهيم محمد بدوى (١٩٩٣) منطقة رأس محمد فيما بين واديى العاط الشرقى والغربى ، دراسة جيومورفولوجية . رسالة دكتوراه غير منشورة ، قسم الجغرافيا ، كلية الآداب ، جامعة الإسكندرية (بإشراف المؤلف)

- إبراهيم عبد العزيز زيادى (١٩٨٥) النطاق الساحلى لشمال مصر غرب الإسكندرية ، دراسة فى استغلال الأرض . رسالة ماجستير غير منشورة ، قسم الجغرافيا ، كلية الآداب، جامعة الإسكندرية (بإشراف المؤلف)

- إبراهيم عبد العزيز زيادى (١٩٨٨) محافظة الشرقية ، دراسة فى جغرافيا التنمية الإقتصادية رسالة دكتوراه غير منشورة ، قسم الجغرافيا ، كلية الآداب ، جامعة الإسكندرية (بإشراف المؤلف)

- إبراهيم نحال (١٩٨٧) التصحر فى الوطن العربى ، معهد الإنتماء العربى . بيروت .

- ابراهيم صادق الشرقاوى (١٩٨٢) مصادر المياه الجوفية بشبه جزيرة سيناء وعلاقتها بطبيعة الأرض ، مجلة المهندسين ، العدد ٣٢٥ ، القاهرة .

- أبشر الإمام الأمين (١٩٨٨) إستخدام الأرض فى حوض نهر شبيلى فى الصومال . رساله دكتوراه غير منشورة ، قسم الجغرافيا ، كلية الآداب ، جامعة الإسكندرية (بإشراف المؤلف).

- أحمد السيد معتوق (١٩٨٩) حوض وادى العمباجى ـ غرب القصير، دراسة جيومورفولوجية، رسالة دكتوراه غير منشورة، كلية الآداب ـ جامعة الإسكندرية (بإشراف المؤلف).

- أحمد عبد السلام (١٩٨٧) منخفضات شبه جزيرة قطر، رسالة ماجستير، كلية الآداب، جامعة عين شمس.

- أحمد سالم صالح (١٩٨٥) حوض وادى العريش، دراسة چيومورفولوجية، رسالة دكتوراه غير منشورة، قسم الجغرافيا، كلية الآداب، جامعة القاهرة.

- أحمد عبد الرحمن الشامخ (١٩٧٩) توطين البدو فى المملكة العربية السعودية (الهجر). رسالة رقم (٣) من الرسائل الجغرافية، منشورات الجمعية الجغرافية وقسم الجغرافيا، جامعة الكويت.

- أحمد عبد السلام (١٩٨٧) منخفضات شبه جزيرة قطر، دراسة چيومورفولوجية، رسالة ماجستير غير منشورة، كلية الآداب، جامعة عين شمس.

- إسماعيل جويفيل وزملاؤه (١٩٨٦) أساسيات علم الأراضى، الإسكندرية.

- أكاديمية البحث العلمي والتكنولوچيا (١٩٨٩) موسوعة الصحراء الغربية، القاهرة. (تقع الموسوعة فى أربعة مجلدات، تضم عديد الأبحاث فى مختلف التخصصات العلمية).

- الأمم المتحدة (١٩٧٨) مؤتمر الأمم المتحدة الخاص بدراسة التصحر الذى انعقد فيما بين ٢٩ أغسطس و ٩ سبتمبر عام ١٩٧٧، نيروبى، الموجز، خطة العمل، القرارات.

- السيد ابراهيم الدعلوج (١٩٨٢) النظام المطرى المتكرر فى وسط المملكة العربية السعودية، مجلة دراسات الخليج والجزيرة العربية، الندوة الأولى لمستقبل الموارد المائية، المجلد الثانى.

- السيد السيد الحسينى (١٩٨٢) موارد المياه فى الصومال. معهد البحوث والدراسات العربية، المنظمة العربية للتربية والثقافة والعلوم، بغداد.

- السيد السيد الحسينى (١٩٨٧) موارد المياه فى شبه جزيرة سيناء. وحدة البحث والترجمة، جامعة الكويت، الرسائل الجغرافية، رسالة رقم (١٠٠).

- السيد خالد المطرى (١٩٨٧) الجغرافيا الحيوية، الطبعة الثانية، مؤسسة علوم القرآن، دار القبلة للثقافة الإسلامية، جدة.

- السيد محمد كيلانى (١٩٧٩) حوار حول تنمية سيناء. مذكرة رقم ١٢٤٣، معهد التخطيط القومى، القاهرة.

- بدر الدين يوسف محمد أحمد (١٩٩٣) مناخ المملكة العربية السعودية. وحدة البحث والترجمة، جامعة الكويت، الرسائل الجغرافية، رسالة رقم ١٥٧.

- بسام أحمد النصر (١٩٨٦) مقومات ومشاكل التنمية الزراعية فى قطر. مجلة دراسات الخليج والجزيرة العربية، الكويت.

- بسام أحمد النصر (١٩٨٨) التنمية الزراعية فى قطر. وحدة البحث والترجمة، جامعة الكويت، الرسائل الجغرافية (١١٨).

- بهزاد بن يوسف (١٩٨٤) استغلال الأرض فى منطقة شرق كاشان بإيران. رسالة ماچستير غير منشورة، كلية الآداب الإسكندرية (بإشراف المؤلف).

- جاسم محمد عبد الله العوضى (١٩٨٩) حركة الكثبان الهلالية فى الكويت. وحدة البحث والترجمة، جامعة الكويت، الرسائل الجغرافية، رسالة رقم (١٢٧).

- جمال حمدان (١٩٨٠ - ١٩٨٦) شخصية مصر، دراسة فى عبقرية المكان، أربعة أجزاء. عالم الكتب، القاهرة.

- جواد مهدى صالح (١٩٨١) الموارد المائية ومستقبلها فى الجمهورية العراقية. مجلة دراسات الخليج والجزيرة العربية. الندوة الأولى لمستقبل الموارد المائية بمنطقة الخليج وشبه الجزيرة العربية، الكويت ٣ - ٥ مارس ١٩٨١، المجلد الأول.

- جودة حسنين جودة (١٩٦٢) تكوينات اللوس. الموسم الثقافى للجمعية الجغرافية، المصرية، القاهرة.

- ـــــــــــــ (١٩٦٤) العصر الجليدى. أبحاث فى الجغرافيا الطبيعية لعصر البلايوستوسين. (أحد عشر بحثا) منشورات جامعة بيروت العربية، بيروت.

- ـــــــــــــ (١٩٧٠) عصور المطر فى الصحراء الكبرى الأفريقية، مجلة كلية الآداب، جامعة الإسكندرية.

- جودة حسنين (١٩٧٣ و ١٩٧٥) أبحاث فى جيومورفولوجية الأراضى الليبية. الجزء الأول ١٩٧٣، والجزء الثانى ١٩٧٥ . منشورات جامعة بنغازى.

- ـــــــــــــ (١٩٧٧) دراسات جيومورفولوجية فى صحراء الجزائر، مجلة كلية الآداب، جامة الإسكندرية.

- ـــــــــــــ (١٩٨١ طبعة أولى، ١٩٩٨ طبعة ٦) الجغرافيا الطبيعية لصحارى العالم العربى، منشأة المعارف، الإسكندرية.

- ـــــــــــــ (١٩٩٦طبعة ١٠) جغرافية أفريقيا الإقليمية. منشأة المعارف، الإسكندرية.

- ـــــــــــــ (١٩٩٧ طبعة ٥) جغرافية آسيا الإقليمية. منشأة المعارف، الإسكندرية.

- ـــــــــــــ (١٩٩٨ طبعة ١٢)جغرافية البحار والمحيطات.منشأة المعارف، الإسكندرية.

- ـــــــــــــ (١٩٩٥ طبعة ٧) جيومورفولوجية مصر. دار المعرفة الجامعية، الإسكندرية.

- ـــــــــــــ (١٩٩٦ طبعة ٧) الجيومورفولوجيا، دراسة فى علم أشكال سطح الأرض. دار المعرفة الجامعية، الإسكندرية.

- ـــــــــــــ (١٩٨٤ طبعة أولى، ١٩٩٦ طبعة ٧) شبه الجزيرة العربية، دراسة فى الجغرافيا الإقليمية. دار المعرفة الجامعية، الإسكندرية.

- ـــــــــــــ (١٩٨٥ طبعة أولى، ١٩٩٦ طبعة ٦) العالم العربى، دراسة فى الجغرافيا الإقليمية. دار المعرفة الجامعية، الإسكندرية.

- ــــــــــــــ (١٩٩٦ طبعة ٨) الجغرافيا الطبيعية للزمن الرابع والعصر المطير فى الصحارى الإسلامية. دار المعرفة الجامعية، الإسكندرية.
- ــــــــــــــ (١٩٨٤) دراسات فى جيورمورفولوجية الصحارى العربية. الهيئة المصرية العامة للكتاب، مركز الكتاب، الإسكندرية.
- ــــــــــــــ (١٩٦٥) طبعة أولى، ١٩٩٧ طبعة ٢١) معالم سطح الأرض. دار المعرفة الجامعية، الإسكندرية.
- ــــــــــــــ (١٩٨٩) طبعة أولى، ١٩٩٧ طبعة ٦) الجغرافيا المناخية والنباتية. دار المعرفة الجامعية، الإسكندرية.
- ــــــــــــــ (١٩٩٤) المياه الحفرية والتنمية فى صحارى العالم العربى. وحدة البحث والترجمة، جامعة الكويت، رسائل جغرافية (١٦٧).
- جودة حسنين جودة، على أحمد هارون (١٩٩٨ طبعة ٥) جغرافية الدول الإسلامية. منشأة المعارف، الإسكندرية.
- حارث عبد الجبار (١٩٨٩) الأمطار فى العراق، دراسة فى المناخ التطبيقى، رسالة ماچستير، كلية الآداب، الإسكندرية (بإشراف المؤلف).
- حسن عطيوى وزملاؤه (١٩٨٦) نوعية المياه، وصفات التربة، وعلاقتها بالرى والصرف فى منطقة الأحساء. الندوة السادسة للنواحى البيولوجية للمملكة العربية السعودية، الرياض.
- حسن على حسن (١٩٩٥) منطقة البرامية وما حولها وسط الصحراء الشرقية لمصر، دراسة چيومورفولوجية. رسالة دكتوراه، كلية البنات، جامعة عين شمس.
- حنان محمد حامد (١٩٩٤) الخريطة الچيومورفولوجية لمنخفض مسيوة. رسالة ماچستير، كلية الآداب، جامعة المنوفية (بإشراف المؤلف).
- حسن عواد ومحمد خليفه (بدون تاريخ) التحريج فى الكويت، إدارة المراعى

والتحريج، الهيئة العامة لشئون الزراعة والثروة السمكية، الكويت.

- حسان عوض (١٩٦٠) جغرافية شبه جزيرة سيناء، الأحداث الجيورمورفولوجية، موسوعة شبه جزيرة سيناء، المجلس الأعلى للعلوم، رئاسة الجمهورية، القاهرة.

- حسين القلعاوى (١٩٩١) منطقة تبوك بالمملكة العربية السعودية، دراسة لأثر الظروف الجغرافية الطبيعية على إمكانات التنمية الزراعية. نشرة البحوث الجغرافية، كلية البنات، جامعة عين شمس.

- حمدينه عبد القادر السيد (١٩٩٣) إقليم الساحل الشرقى لخليج السويس، دراسة چيومورفولوچية. رسالة دكتوراه، كلية الآداب، جامعة الإسكندرية (بإشراف المؤلف).

- خلف جاسم محمد (١٩٨٨) جغرافية السياحة بالعراق. رسالة دكتوراه، قسم الجغرافيا، كلية الآداب، جامعة الإسكندرية (بإشراف المؤلف).

- رشدى سعيد (١٩٦٠) تعمير شبه جزيرة سيناء، موسوعة شبه جزيرة سيناء، المجلس الأعلى للعلوم، رئاسة الجمهورية، القاهرة.

- ـــــــــ (١٩٩٣) نهر النيل، الطبعة الثانية، دار الهلال، القاهرة.

- زين الدين عبد الرحمن رجب (١٩٨٧) واحة الأحساء، دراسة فى مواردها المائية وتأثيرها فى الاستخدام الريفى. الندوة الثالثة لأقسام الجغرافيا بجامعات المملكة السعودية، مارس ١٩٨٧.

- زين الدين عبد المقصود غنيمى (١٩٧٥) التنمية الزراعية فى الكويت، مجلة كلية الآداب والتربية، جامعة الكويت.

(١٩٨٠) مشكلة التصحر فى العالم الإسلامى. وحدة البحث والترجمة، جامعة الكويت، الرسائل الجغرافية (٢١).

(١٩٨١) محافظة الجهراء، دراسة فى التخطيط البيئى والتنمية الريفية، وحدة البحث

والترجمة، الإصدارات الخاصة (٢).

(١٩٨٢) موارد المياه فى الكويت، دراسة فى كفاءة الاستخدام. مجلة دراسات الخليج والجزيرة العربية، الندوة الأولى لمستقبل الموارد المائية بمنطقة الخليج... المجلد الثالث.

- سحر محمد عبد الوهاب (١٩٩٢) الجغرافيا الاقتصادية لشبه جزيرة سيناء. رسالة ماچستير غير منشورة، قسم الجغرافيا، كلية الآداب، جامعة الإسكندرية.

- سميح عودة (١٩٨٠) بعض الظواهر الإرسابية النشأة على الجانب الشرقى لغور الأردن وأثرها فى أنماط استخدام الأرض. رسالة دكتوراه، قسم الجغرافيا، كلية الآداب، الإسكندرية (بإشراف المؤلف).

- سمير سامى محمود (١٩٨٩) منطقة جنوب شرق القاهرة، دراسة چيومورفولوجية. رسالة ماچستير، كلية الآداب، جامعة القاهرة.

(١٩٩٤) منطقة الغردقة، دراسة چيومورفولوچية، رسالة دكتوراه، كلية الآداب، جامعة القاهرة.

- ستيفنس، ج. هـ (١٩٧٢) زراعة الواحة فى وسط وشرق شبه الجزيرة العربية. وحدة البحث والترجمة، جامعة الكويت، الرسائل الجغرافية (١)، ترجمة زين الدين عبد المقصود غنيمى.

- سعود عياش (١٩٨٢) استخدام الطاقة الشمسية للموارد المائية فى الكويت. مجلة دراسات الخليج... الندوة الأولى لمستقبل الموارد المائية.... المجلد الرابع.

- سعيد محمد أبو سعدة (١٩٨٣) هيدرولوجية الأقاليم الجافة وشبه الجافة. وحدة البحث والترجمة، جامعة الكويت، تعريب قسم من موسوعة الهيدرولوجيا التطبيقية Handbook of Applied Hydrology.

- شوقى حسن مرعى وزميله (١٩٨٢) الموارد المائية الجوفية ومستقبلها فى دولة الإمارات

العربية المتحدة. مجلة دراسات الخليج.... الندوة الأولى لمستقبل الموارد المائية.... المجلد الثانى.

- صبحى عبدالله المطوع (١٩٨٢) استعمالات المياه المالحة : دراسة تجريبية فى مجال التشجير. مجلة دراسات الخليج...، الندوة الأولى لمستقبل الموارد المائية... المجلد الثالث.

(١٩٨٧) التنمية الزراعية فى منطقة الوفرة «بالكويت»، ١٩٨٤ ـ ١٩٨٥، وحدة البحث والترجمة، جامعة الكويت، الرسائل الجغرافية (١٠٦).

(١٩٩٢) مشكلة التصحر فى الكويت. مجلة دراسات الخليج والجزيرة العربية. العدد ٦١، الكويت.

- صبرى يوسف (١٩٨٢) المياه الأرضية فى الوطن العربى : آفاق معالجتها. مجلة دراسات الخليج... الندوة الأولى لمستقبل الموارد المائية... المجلد الرابع.

- صلاح الدين بحيرى (١٩٧٩) نحو تصنيف مورفولوجى لمنخفضات الصحراء. وحدة البحث والترجمة، جامعة الكويت (١٠).

- صلاح الدين بحيرى (١٩٨٠) التنمية الزراعية فى قطر. مجلة دراسات الخليج والجزيرة العربية، العدد (٢١) الكويت.

- طه محمد جاد (١٩٨٢) الأمطار فى الكويت. مجلة دراسات الخليج... الندوة الأولى لمستقبل الموارد المائية... المجلد الثانى.

- طلعت أحمد عبده (١٩٨٠) الآثار الجغرافية للعصر المطير فى صحراء مصر الشرقية. رسالة دكتوراه، كلية الآداب، جامعة القاهرة.

- عادل عبد السلام (١٩٧٥) الجغرافيا الطبيعية لدولة البحرين، معهد البحوث والدراسات العربية، القاهرة.

(١٩٧٩) الأرض التى عليها دولة الإمارات العربية المتحدة، الفصل الثانى فى دولة الإمارات العربية المتحدة، دراسة مسحية شاملة، معهد البحوث

والدراسات العربية، القاهرة.

- عادل محمد العبد المغنى (١٩٧٧) الاقتصاد الكويتى القديم، الكويت.

- عبده شطا (١٩٦٠) جيولوجية شبه جزيرة سيناء، موسوعة سيناء.... القاهرة.

- عبد الرازق البطيحى (١٩٨٢) دراسة في العراق الزراعى. بغداد

- عبد الرحمن صادق الشريف (١٩٨٢) جغرافية المملكة العربية السعودية. الجزء الأول، الطبعة الثانية، دار المريخ للنشر، الرياض.

- عبد الرحمن سعود البليهد (١٩٨٨) القمح فى المملكة العربية السعودية، وحدة البحث والترجمة، جامعة الكويت، الرسائل الجغرافية، (١١٦).

- عبد الحميد كيلو، محمد الشيخ (١٩٨٦) نباك الساحل الشمالى فى دولة الكويت. وحدة البحث والترجمة، جامعة الكويت. الإصدارات الخاصة (١٢).

(١٩٨٨) أودية جال الزور بالكويت. وحدة البحث والترجمة، جامعة الكويت. الإصدارات الخاصة (١٢).

- عبد الله سليمان الحديثى (١٩٩٣) تقويم طريقة الرى بالتنقيط فى مزارع منطقة الخرج بالمملكة العربية السعودية، وحدة البحث والترجمة، جامعة الكويت، الرسائل الجغرافية (١٦٢).

- عبد السلام هاشم (١٩٧٢) تأثير السدّ العالى على هيدرولوجية النهر وعلاقته بمشروعات التوسع الزراعى ومقننات الرى والصرف بجمهورية مصر العربية، الجزء الأول والثانى. وزارة الرى واستصلاح الأراضى، القاهرة.

- عبد السلام هاشم، ومحمد فتح الله (١٩٧٦) تأثير السدّ العالى على هيدرولوجية النهر وعلاقته بمشروعات التوسع الزراعى، القاهرة.

- عبد المجيد رجب فوده (١٩٩٢) الزراعة فى الأحساء، عوامل قيامها ومشكلاتها، دراسة جغرافية. البحوث الجغرافية، كلية البنات، جامعة عين شمس (١٧).

- عبد العزيز طريح شريف (١٩٧٤) جغرافية ليبيا. مؤسسة الثقافة الجامعية، الإسكندرية.
(١٩٨٠) مناخ الكويت. مؤسسة الثقافة الجامعية، الإسكندرية.
- عبد الله الحمين وعامر الحسين (١٩٨٧) انخفاض مستوى الماء وتوقف التدفق الطبيعى فى جميع عيون الأحساء. وزارة الزراعة والمياه. الرياض.
- عبدالله علام (١٩٩٢) حوض وادى أم عدوى جنوب شرق شبه جزيرة سناء، دراسة چيومورفولوجية. رسالة دكتوراه، كلية الآداب، الإسكندرية (بإشراف المؤلف).
- عبدالله الكليب (١٩٨٢) الأمطار فى شبه الجزيرة العربية. مجلة دراسات الخليج... الندوة الأولى لمستقبل الموارد المائية، المجلد الثانى، الكويت.
- عبد الله السرى (١٩٨٤) زحف الرمال وطرق مقاومته فى المملكة العربية السعودية. الندوة العربية الأولى لتثبيت الكثبان الرملية ومكافحة التصحر، بغداد.
- عزة أحمد عبدالله (١٩٨٩) جيومورفولوجية المنطقة بين القاهرة والسويس. رسالة دكتوراه غير منشورة، كلية الآداب، جامعة القاهرة.
- عمر الفاروق سيد رجب (١٩٨٢) النمو الحضرى والموارد المائية فى الرياض. مجلة دراسات الخليج... الندوة الأولى لمستقبل موارد المياه... المجلد الرابع، جامعة جامعة الكويت.
- عطاحَمُّه غريب (١٩٨٣) چيومورفولوچية منطقة بيرمكرون بشمال العراق، رسالة ماچستير، كلية الآداب، الإسكندرية (بإشراف المؤلف).
- عواد حامد (١٩٩٤) الكثبان الرملية فى شرق الدلتا، رسالة ماچستير، كلية الآداب، جامعة المنوفية (بإشراف المؤلف).
- غانم سلطان وفتحى فياض (١٩٩٣) جغرافية الكويت. دار المعرفة الجامعية الإسكندرية.
(١٩٩٤) الجغرافيا الاقتصادية للكويت. دار المعرفة الجامعية، الإسكندرية.

- فاروق شاكر خضر (١٩٧٣)المياه الجوفية في المملكة العربية السعودية وأثرها في الإنتاج الزراعى. رسالة ماجستير غير منشورة، قسم الجغرافيا. كلية الآداب، الإسكندرية.

- فاطمة حسين العبد الرازق (١٩٧٤) المياه والسكان فى الكويت. منشورات مكتبة ذات السلاسل، الكويت.

(١٩٨٢) المياه وعلاقتها بالسكان في الكويت. مجلة دراسات الخليج... الندوة الأولى لمستقبل الموارد المائية... المجلد الرابع. جامعة الكويت.

- فؤاد محمد الصقار (مترجم ١٩٨٣) زراعة الواحة فى دولة الإمارات العربية المتحدة، تأليف ب. ت. أنوين، وحدة البحث والترجمة، جامعة الكويت، الرسائل الجغرافية (٥٨).

- فوزية محمود صادق (١٩٨٣) إمكانيات التنمية الزراعية فى سيناء. وحدة البحث والترجمة، جامعة الكويت، الرسائل الجغرافية (٥٨).

- كرم جيد (١٩٦٠) مصادر المياه بشبه جزيرة سيناء، موسوعة سيناء. المجلس الأعلى للعلوم، رئاسة الجمهورية، القاهرة.

- كرم حسن حلاّق (١٩٩٢) النموّ الحضرى وأثره على استهلاك المياه بمدينة بنغازى. رسالة ماجستير، كلية الآداب، جامعة قاريونس، بنغازى، ليبيا.

- كينيث والطون (١٩٧٨) الأراضى الجافة، ترجمة على شاهين. منشأة المعارف، الإسكندرية.

- مجدى عبد الحميد السرسى (١٩٨٥) الرى ومشكلات الزراعة فى دلتا النيل، دراسة جغرافية. رسالة دكتوراه غير منشورة، كلية البنات، جامعة عين شمس.

- محمد رشيد الفيل (١٩٨٣) التنمية الزراعية فى الكويت. وحدة البحث والترجمة، جامعة الكويت، المنشورات (٥).

- محمد الذبيانى، وسليمان آدم (١٩٨٦) مصادر المياه فى المملكة العربية السعودية،

وزارة الزراعة والمياه، الرياض.

- محمد صلاح شركسى، وعيسى جاسم الخليفة (١٩٨٤) نباتات الكويت الطبيعية، مؤسسة الكويت للتقدم العلمى، الكويت.

- محمد عبد الهادى راضى (١٩٨٦) أثر السدّ العالى فى حماية مصر من الجفاف، وزارة الرى واستصلاح الأراضى. القاهرة.

- محمد الشرنوبى وزملاؤه (١٩٨٨) أطلس الكويت القومى، الطبعة الأولى، دار القبس للصحافة والطباعة والنشر. الكويت.

- محمد عبد الفتاح عمارة (١٩٨٩) أحوال مصر الاجتماعية والاقتصادية فى العصر البطلمى، دراسة فى الجغرافيا التاريخية. رسالة دكتوراه، كلية الآداب، الإسكندرية (بإشراف المؤلف).

- محمد زكى السّديمى (١٩٩١) محافظة الإسماعلية، دراسة فى الجغرافيا الاقتصادية. رسالة دكتوراه، كلية الآداب، جامعة طنطا (بإشراف المؤلف).

- محمد مجدى تُراب (١٩٨٨) حوض وادى جنوب غرب السويس، دراسة چيومورفوجية. رسالة دكتوراه، كلية الآداب الإسكندرية (بإشراف المؤلف).

- محمد عوض محمد (١٩٤٨) نهر النيل، القاهرة.

- محمد متولى موسى (١٩٧٤) حوض الخليج العربى، الجزء الأول، مكتبة الأنجلو المصرية، القاهرة.

- محمد محمود الصياد، ومحمد سعودى (١٩٦٦) السودان، دراسة فى الوضع الطبيعى، والكيان البشرى، والبناء الاقتصادى، القاهرة.

- محمد محمود محمدين (١٩٧٤) الإنتاج الزراعى ومقوماته الجغرافية فى الصومال رسالة ماجستير غير منشورة، قسم الجغرافيا، كلية الآداب، الإسكندرية.

- محمد أرباب السيد (١٩٨٦) التصحر وآثاره فى إقليم كردفان بالسودان. رسالة

دكتوراه غير منشورة، قسم الجغرافيا، كلية الآداب، جامعة الرسكندرية. (بإشراف المؤلف).

- محمد صفىّ الدين (١٩٧٧) مورفولوجية الأراضى المصرية، القاهرة.

- محمد نجيب حسن، ومصطفى خضر مصطفى (١٩٦٩) أصول البيدولوجى، الإسكندرية.

- محمود حسان عبد العزيز (١٩٨٢) ترشيد الاستهلاك المائى فى الزراعة. مجلة دراسات الخليج... الندوة الأولى لمستقبل الموارد المائية... المجلد الرابع، الكويت.

- محمود أبو العينين (١٩٩٤) حوض وادى وردان، بشبه جزيرة سيناء. رسالة دكتوراه، كلية الآداب، الإسكندرية (بإشراف المؤلف).

- ممدوح تهامى عقل (١٩٩٢) وادى النيل بين سوهاج وأسيوط، دراسة جيومورفولوجية، رسالة دكتوراه، كلية الآداب، الإسكندرية، (بإشراف المؤلف).

- مصطفى محمد الحاى (١٩٩١) إمكانيات تنمية مصادر البيئة الطبيعية بشمال شرق سيناء رسالة دكتوراه غير منشورة، كلية البنات، جامعة عين شمس.

- منال محمد البنا (١٩٨٨) الإمكانات الاقتصادية بصحراء مصر الغربية. رسالة دكتوراه غير منشورة، قسم الجغرافيا، كلية الآداب، جامعة الإسكندرية (بإشراف المؤلف).

- موسى هديب (١٩٨٠) المياه الباطنية فى الأردن ودورها فى الإنتاج الزراعى. رسالة ماجستير غير منشورة، قسم الجغرافيا، كلية الآداب، جامعة الإسكندرية (بإشراف المؤلف).

- نبيل إمبابى ، ومحمود عاشور (١٩٨٣) الكثبان الرملية فى شبه جزيرة قطر، الجزء الأول، مركز الوثائق والبحوث الإنسانية، جامعة قطر، الدوحة، قطر.

(١٩٨٥) الكثبان الرملية فى شبه جزيرة قطر. الجزء الثانى. مركز الوثائق... جامعة قطر.

- نبيل يوسف عبده (١٩٩١) بعض الظاهرات الجيولوجية على السهل الساحلى للبحر

الأحمر، جنوب خليج السويس فى مصر. رسالة دكتوراه، كلية الآداب، جامعة عين شمس.

- نجيب خروفة وزميلاه (١٩٨٤) الرّىُّ والبزْلُ فى العراق والوطن العربى، كلية الهندسة، جامعة بغداد، العراق.

- نجلاء مرشدى (١٩٨٨) مناطق الاستصلاح الزراعى فى شمال وسط الدلتا، دراسة جغرافية، رسالة ماجستير، كلية الآداب، جامعة طنطا (بإشراف المؤلف).

- نزيه عبد الهادى (١٩٨٠) استعمالات الرى بالتنقيط فى زراعة الخضر بالمملكة العربية السعودية، المجلة الزراعية، العدد الرابع، المجلد العاشر، الرياض.

- نصر السيد نصر (١٩٨٨) جغرافية مصر الزراعية. مكتبة سعيد رأفت، جامعة عين شمس، القاهرة.

- نعمان شحادة (١٩٨٢) الأمطار فى دولة الإمارات العربية المتحدة، مجلة دراسات الخليج... الندوة الأولى لمستقبل الموارد المائية... المجلد الثانى، جامعة الكويت.

- نورة عبد التواب السيد (١٩٩٥) مصادر المياه فى منخفض الفيوم، دراسة فى الجغرافيا الطبيعية. رسالة ماجستير ـ كلية البنات جامعة ـ عين شمس.

- وزارعة الزراعة واستصلاح الأراضى (١٩٧٧) سياسة التوسع الأفقى واستصلاح الأراضى فى ٢,٨ مليون فدان، القاهرة.

- وهبه حامد شلبى (١٩٩٥) منطقة رأس الحكمة (ساحل مريوط ـ شمال غرب مصر) دراسة چيورمورفولوچية. رسالة ماچستير، جامعة طنطا (بإشراف المؤلف).

- ياسين ابراهيم سيد (١٩٩٢) الأشكال الرملية فى إمارة أبو ظبى، دراسة جيومورفولوجية، رسالة دكتوراه غير منشورة، كلية البنات، جامعة عين

شمس.

- يحيى سرى (١٩٧٩) الزى والصرف فى مصر بين الماضى والحاضر، وزارة الرى واستصلاح الأراضى.

- يوسف أحمد العبد الواحد (١٩٨٢) مشروع حجز الرمال بالأحساء بالمملكة العربية السعودية، وزارة الزراعة والرى، الرياض.

- يوسف أبو الحجاج (١٩٨٢) مستقبل تنمية الموارد المائية فى دولة الإمارات العربية المتحدة. مجلة دراسات الخليج والجزيرة العربية، الندوة الأولى لمستقبل تنمية الموارد المائية بمنطقة الخليج وشبه الجزيرة العربية، المجلد الرابع، جامعة الكويت.

ثانياً : المراجع غير العربية :

- **Abd el Rahman and Others (1980 - 1981) Some geomorphological aspects of Siwa depression. Bull. Soc. Géog. d'Eg.**

- Abd el Samie, A. (1961) Report on the survey and classification of the Kharha Oasis. Bull. Soc. Géog. d'Eg.

- Abdullah, J.M. (1988) Study of control measures of mobile barchan dunes on the Umm Al - Eish and west Jahra areas. Kuwait Institute for Scientific Research. Report No. 2580, Kuwait.

- Abu Saada , S. M. (1982) Interpetation of environmental isotopes date of kuwait groundwater. Journal of the Gulf. and Arabian Peninsula Studies, First Symposium on the future development of water resources ..., vol II., Kowait University .

- Al Blehed, A. S. (1984) Streamflow and groundwater resources in Asir, Saudi Arbia, J. Coll. Arts, King Saud Univ., Riyadh, vol. II (2) .

- Al Jerrash, M. A. (1989) Data for climatic water balance in Saudi Arabia. Scien. Publ. Cen., King Abdulaziz Univ., Jedah .

- Annaheim, H. (1984) Die Afrikanische Landschaften. Bern, Schweiz .

- Attkinson , K. & Others (1972) Kufra : A changing Saharan community. Journal of the Faculty of Arts, Univ. of Benghazi .

- Attkinson, K. (1975) The soils of Kufra Oasis, Libya , J. Fac. Arts, Benghazi, Libya .

- Awad, H. (1951) La Montagne du Sinai Central. le Caire .

- Babcock, H. M. & (1972) Recharge to groundwater from floods in a typical desert wash, Penal country Arizona. Trans. Am. Geophsical. Union, vol. 23. pp. 49 - 55 .

- Bagnold, R. A. (1933) A further Journey through the Libyan desert. Geog. Jour. vol. 82, London .

- .... (1941) The physics of blown sand and desert dunes. New York .

- Ball, & Beadnel , H. J. L. (1903) Baharia Oasis : Its topography and geology. Govt. Press, Cairo .

- Ball, J. (1927) Problems of the libyan desert., Geogr, Jour. vol. 70

- .... (1933) The Qattara depression of the Libyan desert. Geog. Jour .

- .... (1939) Contributions to the geography of Egypt. Cairo .

- Balout, L. (1952) Pluviaux interglaciares et prehistoires Saharienne. Trav. Inst. Rech. Sah. VIII .

- Barakat, M. G. & Others (1970 - 1971) Contribution to the geomorphological pattern and structural features of Wadi el - Natrun area. Bull. Soc. Geog. d'Eg.

- Blackwelder, E. (1933) The insolation hypothèsis of rock weathering. Am. Jour. Scie. 26, pp. 97 - 113 .

- Barron. T. & Hume, W. F. (1902) Topography and geology of the Eastern Desert of Egypt, Cairo .

- Barron, T. (1910) Sand dunes of the libyan desert. Geog. Jour. bol. 35 .

- Beadnell, H. J. L. (1921) The wilderness of Sinai : A record of two years recent exploration. London .

- Bender, F. (1974) Geology of Jordan, Berlin .

- Bo Hellstrom (1940) The subterranean water in the libyan Desert. Geografiska, Annaler, 22. pp. 206 - 239 .

- Bobeck, H. (1977) Die Rolle der Eiszeit in Nordwest - IRAN. Zeitschr. für Gletscherkunde .

- Brunnacker, K. (1970). die sedimente des schetzdaches von Jabrud, Syrien . fundamenta, A. 2. pp. 189 - 198 .

- Buedel, J. (1962) reliefgenerationen und Plio-pleistozäner Klimawandel in Hoggar - Gebirge. Erdkunde IX .

أجيال التضاريس والتغير المناخي في البلايو - بلايوستوسين بمرتفعات الحجار

- .... (1971) Morphogenese des Festlandes in Abhängigkeit von den Klima - Zonen. Die Natur Wissen., 48 .

أصول أشكال الأرض في النطاقات المناخية

- Burdon, D. (1969) Hand book of the geology of Jordan .

- Butzer, K. W. (1958) Quaternary stratigraphy and climates in the Near East. Bonner Geog. Abhandl. 24 .

- Butzer, K. W. & Hansen, C. L. (1968) Desert and river in Nubia. Madison & London .

- Caton Thompson & Gardner (1934) The desert Fayoum. Royal Anthr. Inst. London (2 vols) .

- .... (1950) Kharga Oasis in Prehistory. Cambridge .

- Chapman , R. W. (1978) Geology and Geomorphology of the Arabian Peninsula . Springer Verlage, New York .

- Cekirge, H. M. & Others (1984) Movements of sand dunes. Mathematical Modeling 5, pp. 12 - 62 .

- Cooke, R. U. D. & Others (1985) Urban Geomorphology in drylands. Oxford Univ. Press. London .

- Choubert, G. (1987) Essai de correlation de fromations continentales et marine de pleistocene au moroc . Congr. INQUA .

- Cohley , L. J. (1973) An, introduction to Botany of the Arid Lands . London .

- Darwish, M. A. & Others (1982) The water problem and desalination wityh special emphasis on Saudi Arabia. J. of the Gulf., first Semp. On the Future ... vol. IV. Kuwait Univ .

- davis, M. W. (1938) Sheet floods and strean floods. Bull. Geol. Soc. Amer. 49 .

- De Blij, H.J. (1975) Geography of Sub - Saharan Africa, Chicage.

- De Cosson, A. (1935) Mareotis. London .

- De Martonne, E. (1957) Le Climat. (traité de geagraphie physique). Paris .

- El Baz, F. (1986) The formation and motion of dunes and sand seas. In Physics of Desertification. Ed. El Baz, F., & Hassan, M. H. Martinus Nijhoff Publishers . Dordrecht, Boston, Lancaster ,

- el Eryani, M. L. (1979) Hydrology and ground water potential of the Tihama - Yemen Arab Repulic. Ministry of Agriculture, Sana'a .

- Embabi, N. s. (1990) Dune movement in Kharga and Dakhla

Oases Depresion, the Western Desert, Egypt. Ed. el Baz, F.et al., World Scientific .

- Flint, R. F. (1953) recent advances in North american Pleistocene stratigraphy. eiszeitalter und Gegenwart., 3.

- Flohn, H. (1952) Atmospherische Zirkulation and Palaeoklmatologie. Geolog. runsch. 40 .

الدورة الهوائية والمناخ القديم

- flohn, H. (1969) Kontinental - Verschiebungen, Polwanderungen und Vorzeitklimate. Naturwiss. Rundsch. 12 .

التَّزَحْزُحُ القاررئ وتغير موضع القُطْب والمناخ القديم

- Foda, M. & Others (1984) Assesment of Sand encroachment and erodibility Problems in kuwait. Ku. Inst. F. Scien . Res. Rep. No. 1297 .

- Gouda, H. G. (1968) Das Problem der Pluvialzeiten. Geogr. Helvetica. Bern .

مشكلة عصور المطر

- .... (1972) Geomorphologische Studien in der Libischen Wueste. Geogr. Helv. Bern .

دراسات جيومورفولوجية فى الصحراء الليبية

- .... (1975) Die Glazialeustatische meeresspiegel - Schwankungen . Eiszeitalter und Gegenwart. Oehrigen / wuertenberg .

الذبذبات الإيوستاتية الجليدية فى مستوى مياه البحار

- .... (1979) Die Entstehungen der Libischen Depresionen. Geogr. Helv. Bern .

نشأة المنخفضات فى الصحراء الليبية

.... (1982) Morphologische Studien in hohen Tibesti, Libya. Zeitsch. Geomorph, 4.

دراسات مورفولوچية فى مرتفعات تيبيستى

- Goutier, E. F. (1978) Le Sahara, Paris .

- Grahmann, R. (1957) Die entwicklungsgeschichte des Kaspisees und des Schwartzen Meers. Mitt. der Geselsch. F. Erdkunde Zu Leibzig, 154 .

تطور بحر قزوين والبحر الأسود .

- Grove, A. T., & warren, A. (1968) Quaternary landforms and climate on the south side of the Sahara. geog Jour., 134, pp. 194 - 208 .

- Hagedorn, H. (1977) dune stabilization. A survey of literatur on dune formation and dune stabilization. Geogr. Inst. Univ. wuzburg .

- Higazy, R. & Shata, A. (1960) remarks on the age and origin of ground water in Western Desert. Bull. Soc. Grog. d'Eg.

- Hofmann, G. (1965) Die Thermodynamik der Taubildung. Ber. Deut. Witterdienst, vol. 3, no. 18 .

فى كيفية تكوين الندى فى الصحارى .

- Hume, W. f. (1925) Geology of egypt. Surv. dept. Cairo (2 vols).

- Hume, W. F., & Hughes, F. (1921) The soils and water supply of the Maryut district, Cairo .

- Hussain, Z. (1920) Problems of irrigated agriculture in Al- Hassa, Saudi Arabia. Agriculture Water Management, vol. 5, pp. 359 - 374 .

- Ibrahim, M. M. !1972) The effect of static electrical charges on wind erosion and the origin of the depressions in the Libyan desert. Bull. Soc. d'Eg.

- Jado, A. & Zotl, J. (Eda, 1984) Quaternary Period in Saudi Arabia. Springer - Verlage, New York .

- Joffe, E. G. H. (1985) Agriculture development in the Middle East John Willey and Sons, New York .

- Jonson, R., J. (1968) Choice in classification, the subjectivity of objective methods. Ann. Assoc. of Am. Geographers, 58, pp. 575 - 589 .

- Kaiser, K. (1973) Quartaer - stratigraphische untersuchungen aus dem Damaskas _ Bechen und seiner umgebung . Berlin .

أبحاث استراتيجرافية خاصة بالزمن الرابع فى حوض دمشق ومحيطه .

- Keay, R. W. J. (1979) Vegetation map of Africa. Oxford Univ. Press .

- Mc Clure, H. (1976) Radiocarbon chronology of late Quaternary lakes in the Arabian desert. Nature, vol. 263, pp. 755 - 766 .

- Mc Gee, W. J. (1987) Sheetflood erosion. Bull. Geol. so. Am. vol. 89 pp. 87 - 112 .

- Meigs, Peveril (1953) World distribution of arid and semi-arid homoclimates. Rev. Res. on arid zone Hydr. UNESCO, Paris, pp. 203 - 210 .

- Mensching, H. (1953) Morphologische Studien in hohen Atlas von Morokko. Wrzbg. Geogr. Arb. 1 .

دراسات مورفولوچية فى أطلس العليا ، مراكش .

- .... (1955) Das Quartaer in den Gebirgen von Morokko. Pet. mitt. Erg. H. 256 .

الزمن الرابع فى جبال مراكش .

- Murray, G. W. (1952) The water beneanth the Egyptian Western Desert. Geog. Jour .

- .... (1953) The artesian water beneath the Libyan desert. Bull. Soc. geogr. d'Egpte, 25, pp. 81 - 92 .

- National Academy of Sciences (1974) More water of arid lands. Washington DC .

- Passarge, S. und Meinardus, W. (1933) Studien in der Aegyptischen Wueste. Gottingen .

دراسات فى صحارى مصر .

- Pedelaborde, P. (1975) Introduction a l'étude scientifique du climat. Paris .

- Paver, G. L. & Others (1954) Report on hydrological investigations in Kharga and Dakhla Oases. Publ. Inst. Dés. d'Eg .

- Paylore, P. & Others (Eds) Deserts of the world. Arizona Univ. Press .

- Peel, R. F. (1941) Denudational landforms of the central Libyan Desert. Jour. Geom., vol 5. PP. 3 - 23 .

- .... (1952) Physical Geography. London .

- .... (1960) some aspects of desert geomorphology Geogaphy. vol. 45, pp. 241 - 262 .

- .... (1966) The landscape in aridity. trans. Inst. Brit. Geog., vol. 38, pp. 1 - 23 .

- Khalaf, F., & Others (1984) Types and characteristies of recent surface deposits of Kuwait, Arabian Gulf. Jour. of Arid Environments, vol. 7. pp. 9 - 33 .

- Klitzsch, E. (1977) Fossil reserves of groundwater in the Central Sahara. Nat. Resources and Development, vol. 5 .

- Knetsch, G. (1950) Beobachtungen an der Lybischen Wueste. Geol. rundschau, 38 .

مشاهدات فى الصحراء الليبية .

- Knetsch, G. (1962) Geohydrological ground water investigations in North - African desert regions by means of complex methods. UN - Conference .

- Knetsch, G. (1982) Beobachtungen and der Wuestevon Chad Eiszeitalter u. Gegenwart. Oeringe / Wuertenberg .

مشاهدات فى صحراء تشاد .

- Koeppen, F. (1931) Grundriss der Klimakunde, Berlin .

قواعد علم المناخ .

- .... (1930 - 1933) Handbuch der Klimakunde, Berlin .

المرجع فى علم المناخ .

- .... (1936) Das geographische System der Klimate. Berlin .

النظام الجغرافى للمناخات .

- Kubiena, W. L. (1959) Uber die Braunlehmrelikte des Atakor (Hoggar - Gébirge, Zentral Sahara), Erdkunde IX .

عن اللوم الأحمر القديم فى منطقة أتاكور بمرتفعات الحجار وسط الصحراء الكبرى الأفريقية .

- Lawson, A. G. (1932) Rainwash erosion in humid regions Bull. Geol soc. Amer, 43, 703 pp. 703 - 724 .

- Lefranc, J. P. (1957) De Zuila au lacs de Marzoukia. Trav. Inst. Rech. Sah. XV, 1 .

- Lewis, W. V. (1954) Pressure release and glacial erosion. Jour. Glaciol., vol. 2. pp. 417 - 422 .

- Linton, D. L. (1963) The forms of glacial erosion. Trans. Inst, Brit. Geog. vol. 33, pp. 1 - 27 .

- Louis, H. (1978) Eiszeilliche Seen in Anatolien. Zeitschr. der Geselsch. fuer Erdk. zu Berlin .

بحيرات العصر الجليدى فى الأناضول .

- Lozac, L. (1935) Le Delta du Nil. Le Caire .

- Lucas, A. (1912) Natural soda deposits in Egypt. Eg. Surv. Dept Cairo .

- Machatchek, F. (1962) Das Relief der Erde. 2 vols. Berlin .

تضاريس الأرض فى مجلدين .

- Pfannestiel, M. (1952) Das Quartaer der levante, Teil, I. Die Kueste Palaestina - Syriens. Akadi. Wiss. Maine .

الزمن الرابع فى الشرق ، ساحل فلسطين - سوريا .

- .... (1963) Das Quartaer der lavante. Teil II. Akad. Wiss. U. Lit. Mainz .

الزمن الرابع فى أقطار الشرق

- Picard, L. (1936) Ueber Fauna und Klima des Pleistozaens Palaestina - Syriens. Verhandl. III Intrn. Quart. Konf. wien .

عن الحيوان والمناخ البلايوستوسينى فى فلسطين وسوريا .

- **Polunin, N. (1970) Introduction to Plant geography. Mc Grow - Hill, New York .**

- Reiche, P. (1970) A survey of weathering processes and products. Univ. of New Mexico, Pub. in Geol. No. 3 .

- robinson, H. (1982) Biogeography. London .

- safar, M. I. (1985) Dust and dust storms in Kuwait. Direct. Gen. of Civil Aviation, Meteor. Depart, Ku. Int. Airport.

- Said, R. (1962) The geology of Egypt. New Amsterdarn, Elsever.

- .... (1981) The geological evolution of the river Nile. New York .

- Schwarzbach, M. (1961) Das Klima der Vorzeit. Stuttgart .

المناخ القديم .

- .... (1973) Das Alter der Wueste Sahara. Neues Jb. Geol. Palaeont. Mh .

عمر الصحراء الكبرى .

- Schmidt, N. (1964) Desert animals : physiological problems of heat and water, Clarenden Press, Oxford .

- Schmithuesen, J. (1978) Allgemeine Vegetationsgeographie. Berlin .

الجغرافيا النباتية العامة .

- shaaban, M. A. & E; - Eriani, M. L. (1982) Hydro - geoelectrical study of the Tihama ground water, Yemen Arab Rep. J. of the Gulf and .... first Symp .... Kuwait Uni. vol. II. pp. 7 - 25 .

- Shata, A. (1956) Stuctural development of the Sinai Peninsula. Bull. Inst. Dèsert. Cairo .

- .... (1961) Remarks on the regional geologic structure of ground water reservoirs at Kharga and Dakhla Oases. Bull. Soc. Géog. d'Eg .

- Shata , A . (1962) A priminary report on the geology, hydrology and ground water of the Wadi Natrun .

- Simons, D. (1967) Deserts ; The problem of water in arid lands. Oxford University Press .

- Slatyer, R. O. (1969) Absorption of water by plants. Bot. Rev., vol. 26, pp. 332 - 392 .

- Tadmor, N. & Others (1977) The Negev : The chalenge of a cesert, Harvard university Press .

- Taha, F. K. & Others (1979) Effect of protection on the vegetation of Kuwait inland salt marshes. KISR, Annal Research report .

- Tanner, C. B. (1977) Factors affecting evaporation from plants and soils. J. Soil Water Conser. vol. 12, pp. 221 - 227 .

- Terjung , W. H. (1966) Physiologic climates of the United States : A bioclimatic classification based on man. Annals, Association of American Geographers, 56, pp. 141 - 179 .

- .... (1970) A climatic classification based upon net radiation. proceedings, Assoc. Am. Geogrs., 3. pp. 140 - 144 .

- Thompson, R. D. (1975) The climatology of the arid world. Geogr. Papers. No. 35., Department of geogr. Univ. of Reading .

- Thornbury, W. D. (1958) Principles of Geomorphology. New York .

- Thornthwaite, C. W. (1948) An approach towards rational classification of climate. Geogr. Rev., 38, pp. 55-95.

- Thornthwaite, C. W. & Mather, J. R. (1955) the water balance. Laboratory of Climatology. Publications in Climatology, vol, VIII, No. 1 .

- Trewartha, G. (1954) Fundamentals of physical geography. London.

- Trewartha, G. (1968) An introduction to climate. Mc Grow Hill, New York .

- Tricart, J. & Cailleux, A. (1969) Le modele des regions seches. Centre de Documentation Universitaire, Paris .

- Ward, L. K. (1961) Underground water in Australia. Tait Publishing Co. Melbourne .

- Warren., A. & Others (1968) Quaternary landforms and climate on the south side of the Sahara. Geogr. Jour. 134, pp. 194 - 208 .

- Warren, A. & Other (1973) Geomorphology in deserts, London.

- Walter, H. (1971) Ecology of tropical and subtropical vegetation, Oliver & Boyd, Edinburgh .

- Wendorf, F. & Others (1977) Late Pleistocene and Recent climatic changes in Egyptian Sahara. Geogr, Jour. vol. 143, pp. 211 - 234 .

- Wallen, C. & Other (1962) A study of agroclimatology in semiarid and arid zones of the Near East FAO, Unesco. WMO Interagency Project in Agroclimatology. Rome .

- Walls, D. (1981) Principles of biogeography. London .

- Willcocks, W. and Craig, J. (1913) Egyptian irrigation. 3 rd Ed. London .

- Wilkenson, J. C. (1977) Water and settlement in S. E. Arabia. Clarendon Press. Oxford .

- Yehia, M. A. & Others (1986) Analysis of the main land form Patterns of the coastal area of the Western Desert. Mid. East. Res. Cent. Ain Shams Univ .

- Zahran, M. A. (1970) Wadi El - Rayan : A Natural water reservoir. Bull. Soc. Géog. d'Eg .

- Zhenda, Z.S. Shu & Others (1986) Deserts of China. Inst. of Des. Resear., Academia Simica Lanzho, China .

- Zinderen - Bakker, E. M. (1963) Pflanzengeographische Probleme des Afrikanischen Quartaers. Wuerzburg .

مشكلات الجغرافيا النباتية للزمن الرابع فى القارة الأفريقية .

- Zeuner, F. E. (1950) Dating the Past. London .

- .... (1959) The pleistocene period. London .

خاتمة

احتوت الأبواب الخمسة ، بفصولها الأربعة عشر ، على دراسات علمية متعمقة لأغلفة الأرض ، بداية من الغلاف الجوى ، والغلاف المائى ، فالغلاف الصخرى ، كما توغلنا فى باطن الأرض .. واستعرضنا خصائص ومميزات كل غلاف ، حتى يكون القارئ على بيّنة بالمحتوى المادى ، وما يكتنفه من قوى فى كل غلاف ، وبذلك يتمكن من فهم مناطق الاضطراب والحركة ومُسبّباتها ، والتى تؤدى فى بعض الأحايين إلى أحداث مفاجئة مفجعة ، يُسمونها « **الكوارث الطبيعية** » ....

وينجم عن ممارسات الإنسان غير السّويّة ، كوارث مؤلمة ، تُسبب له المتاعب ، وهذه يُسمونها « **الكوارث البشرية** » . **وقد عدّدنا فى مقدمة الكتاب تلك الكوارث ، ودرسنا منها فى فصوله الأهم ، بقدر ما يُتيحهُ الحجم المعقول للكتاب .**

ولقد سبق وألمحنا فى أكثر من موضع أن كوارث الطبيعة ، حدثت ، وتحدث ، وستظل تحدث ، إلى أن يرث الله الأرض ومن عليها . ولن يستطيع الإنسان ، مهما أوتى من علم وقدرة ، أن يمنع حدوثها ، لكنه يستطيع أن يدرس تاريخ الكوارث والأحداث المروّعة ، ويُجاهد فى تدبير الوسائل ، ووضع الخطط لمواجهتها ، للتقليل من أخطارها ، كما ويلزم مواصلة البحث والدراسة فى مراكز الأبحاث ، دون كلل أو ملل ، للوصول إلى نتائج مرضية فى موضوع إمكانية التّنبؤ بالأحداث الجسام قبل وقوعها بفترة مناسبة ، للحدّ من آثارها المدمرة ، ويجب أن لا تبخل الحكومات على مراكز الأبحاث ، وتمدّها بكل ما يستجدُّ من الأجهزة والوسائل التى تُعينها على مواصلة البحث المثمر ، للوصول إلى حلول سعيدة لمشاكل الكوارث .

وقد تسبّبت الكوارث الطبيعية خلال عقدى السبعينيات والثمانينيات

فى وفاة أكثر من ثلاثة ملايين شخص، والحقت الفواجع بنحو مليار شخص ، ما بين مُشرَّد ، ومصاب ، ومريض ، إضافة إلى الخسائر المادية التى تُقدَّر بمئات المليارات من الدولارات . ومازال مسلسل الكوارث الطبيعية فى العالم يتواصل ، ويزداد حدة خلال التسعينات .

فثورات الطبيعة تحصد آلاف الضحايا . يكفى أن نذكر أنه خلال هذا الصيف ١٩٩٨ ، لم تسلم قارة من وقوع كوارث متعدِّدة المصادر ، من باطن اليابس ، وعمق البحر ، واضطرابات الجو . **فالصين** تعانى هذه الأيام (أواخر يوليه وأوائل أغسطس ١٩٩٨) من فيضانات مدمرة على غرار كارثة عام ١٩٥٤ . وقد اضطرت الصين لهدم ستة سدود جديدة على نهر «يانجتسى » Yangtze ، الذى يخترق الصين من الغرب إلى الشرق ليصب فى المحيط الهادى ، وقد أجْلَتْ نحو نصف مليون شخص من المناطق الواقعة على طول النهر لإنقاذ حياتهم ، بينما المياه تجتاح كل ما يصادفها من مزارع وعمران ، وأدت إلى هلاك نحو ٥٠ مليون فدان من الأراضى الزراعية ، وتدمير نحو ثلاثة ملايين منزل ، وإزهاق أرواح نحو ١٥ ألف شخص .

وما **الصين** إلا مثالا ، يتكرر فى جزر **إندونيسيا** التى تضربها الزلازل ، وما تحدثه من أمواج عاتية تحطم العمران على امتداد السواحل ولعمق فى اليابس لعدة كيلو مترات ، وفى **بنجلاديش** التى غرق نصف مساحتها بمياه الفيضانات ، وأمواج الزوابع والأعاصير المدارية ، ولم تسلم **أمريكا** من كوارث العواصف والفيضانات وحرائق الغابات هذا الصيف أيضا . وأول مرة يضرب إعصار فى شهر يونيه (١٩٩٨) **منطقة موسكو** وما حولها ، وشمال **رومانيا** ، وأدى إلى مصرع أعداد من الأنفس ، وإلحاق خسائر مادية جسيمة بالمنازل والممتلكات ، وقد تأثر ثلث مساحة رومانيا بالفيضانات المدمرة .

وإذا كان غضب الطبيعة وكوارثها تحصد أرواح الآلاف ، وتهدم آلاف المنازل والمنشآت ، فإن كوارث الصراع المسلح ، خاصة فى الدول « المتخلفة»

و « النامية » ، قد أَوْدَتْ بأرواح نحو ١٧٠ مليونا من الأنفس فى خلال الخمسين عاما الماضية بما فيها نصف هذا العام (١٩٩٨) . فكيف السبيل لإيجاد الوسائل التى توفر الحماية للإنسان من أخيه الإنسان !!!

ونظرا لكثرة الكوارث التى شملت معظم أنحاء العالم ، وعانت منها على الخصوص الشعوب النامية ، التى تفتقر إلى العلم والمال ، خلال سبعينيات وثمانينيات هذا القرن العشرين ، فقد اهتمت الأمم المتحدة ، وأصدرت عدة قرارات من جمعيتها العامة ، تحثُّ دول العالم على التخطيط لمواجهة الكوارث ، أهمها القرار رقم ٤٣/١٦٩ لعام ١٩٨٧ ، الذى ينصُّ على تسمية عقد التسعينيات عقدا دوليا ، يعمل خلاله المجتمع الدولى على التعاون من أجل الحدّ من أخطار الكوارث . والقرار رقم ٢٠٣٤ لسنة ١٩٨٩ الخاص بالدعوة لوضع الخطط القومية المناسبة لمجابهة الكوارث ، ثم القرار رقم ٢٤٣٥ لسنة ١٩٨٩ ، الذى يدعو للاستعداد لمنع الكوارث ، والوقاية منها . وقد تتابعت بعد ذلك المؤتمرات الإقليمية والدولية لمناقشة هموم الكوارث الطبيعية والبشرية ، ومنها المؤتمر الدولى الذى عقد فى مصر لإدارة الكوارث فى سبتمبر عام ١٩٩٠ ، وقد نظمته أكاديمية البحث العلمى والتكنولوجيا .

والتعاون الدولى مهم للغاية ، لأن الآثار السلبية للكوارث مؤلمة ، تتعدى الضحايا إلى النواحى الإجتماعية والنفسية ، فالذين ينجون من الهلاك يعانون من الاضطرابات النفسية والعصبية ، التى قد تستمر معهم مدة طويلة خاصة لدى الأطفال ، الذين يعانون اليُتْم والخوف والفزع من المستقبل . وقد تبين من الإحصاءات الصادرة من المنظمات الدولية أن الضحايا من المدنيين ، وخاصة الأطفال تصل إلى ٩٠٪ فى حالة الكوارث والحروب . وقد كان هذا دافعا للأمم المتحدة لإنشاء هيئة « اليونيسيف » عام ١٩٤٦ لرعاية ضحايا الحرب وخاصة الأطفال المشردين اليتامى .

ويتطلب التعامل مع الكوارث نفقات طائلة تكون عبئا على الدول الفقيرة :

ففيما قبل وقوع الكارثة : ينبغى الإنفاق على الإعداد وتدريب فرق الإنقاذ ، وتوفير احتياطى من المعونات الغذائية ، ومستلزمات الإيواء ، والأجهزة الطبية ، والأدوية .

وفى أثناء حدوث الكارثة : تبرز نفقات الإغاثة الفورية ، وإسعاف الضحايا ، والعلاج الطبى .

وفيما بعد إنتهاء الكارثة : يبدأ صرف الإعانات والمساعدات ، وتوفير الأموال اللازمة لإصلاح ما أفسدته الكارثة ، من بنية أساسية ، ومنشآت وطرق ، ومصانع ، ومزارع ....

ولاشك أن الكوارث طبيعية كانت أو بشرية ، تمثل عبئاً ثقيلا على كواهل الدول النامية ، فتزيدها فقرا ، واضطرابا اقتصاديا واجتماعيا ، وهى أيضا ذات الدول الأكثر عرضه للكوارث ، خاصة منها الكوارث البشرية ، أى التى هى من صنع الإنسان الجاهل الفقير . ولهذا فقد أعلنت الأمم المتحدة أن عقد « التسعينيات » عقد دولى ، تُبذل خلاله الجهود للإقلال من آثار الكوارث ، ووضعت أسسا خمسة أوصت بتنفيذها تتلخص فيما يلى :

- تحسين القدرات الوطنية فى مجابهة الكوارث .
- وضع وتطوير استراتيجيات للإقلال من الآثار السلبية للكوارث .
- دعم الجهود العلمية والبحوث .
- كفاءة وسرعة ودقة نقل المعلومات .
- القدرة والكفاءة على تقييم نتائج مواجهة الكوارث .

وقد اتجه المجتمع الدولى إلى إبرام الاتفاقيات الدولية لمواجهة مشاكل الكوارث . ومن بين الاتفاقيات المهمة فى هذه الصدد ، اتفاقية « فيينا » عام ١٩٨٩ **لحماية طبقة الأوزون بالغلاف الجوى** ، تلك الطبقة التى تحمى المعمور الأرضى من الأشعة فوق البنفسجية التى تسبب أمراضا خطيرة ،

ومنها مرض السرطان . وبالمثل يلزم عقد اتفاقية دولية لكيفية التصرف فى النفايات النوّوية ، فقد لجأت بعض الدول النووية إلى إغراء بعض الدول النامية الفقيرة ، بالموافقة على دفن النفايات النووية فى أراضيها الصحراوية ، أو فى مياهها الإقليمية ، وهذا من شأنه إحداث كوارث بيئية تهلك البشر ، وتلوث البيئة .

وتقوم جامعة الدول العربية ، ومنظمة الوحدة الإفريقية بدور مهم فى هذا الأمر ، وهو دور رائد للتعاون الإقليمى لدرء أخطار التلوث البيئى فى الدول النامية . وبالمثل تتخذ دول مجلس التعاون لدول الخليج العربى إجراءات مشتركة لحصر وتحديد وتحجيم مشاكل التلوث البيئى ، وهم بصدد تنفيذ مشروع موحّد للتعامل مع المواد المشعة ، وحماية الخليج العربى من التلوث المائى ، وإرساء قواعد لتنظيم التعامل مع الكيماويات والمواد السامة ، وإعادة استخدام مياه الصرف والنفايات ، والاستخدام السلمى للطاقة الذرية .

وينبغى أن نشير فى هذا المقام إلى الاهتمام العالمى بربط البيئة بالتنمية . فقد تمّ انعقاد « اجتماع قمة الأرض » بمدينة « ريودى جانيرو » بالبرازيل فى يونيه ١٩٩٢ ، وحضره عدد كبير من رؤساء دول العالم ووزرائها . وأقر اجتماع القمة هذا مجموعة من الاتفاقيات الدولية حول البيئة ، تستهدف الحفاظ عليها خلال القرن المقبل .. القرن الواحد والعشرين . وفى نفس الوقت انعقد مؤتمر المنظمات الدولية الأهلية (غير الحكومية) أيضا فى « ريودى جانيرو » بالبرازيل ، وحضره الآف من ممثلى المنظمات الراعية للبيئة ، ومحبى الحفاظ عليها ، ودلّت المناقشات التى حدثت ، والقرارات والتوصيات التى اتخذت ، على الدور المهم الذى ينتظر هذه المؤسسات الأهلية فى الحفاظ على البيئة خلال العقود القليلة المقبلة .

وإننا لنأمل أن تبذل الدول العربية قصارى جهدها للمضىّ قُدما نحو الاتفاق على استراتيجية عربية موحدة ، لمواجهة الكوارث فى البيئات

العربية، كاستراتيجيات التلوث المائي ، والجوى ، وتلوث التربة ، ومجابهة أخطار السيول ، والتّصحّر ، ومكافحة الجراد ، والمخدرات .

ذلك أن التصدى الجماعى لهذه الأخطار يُقلل من آثارها السلبية ، سواء منها الاجتماعى والاقتصادى ، مما يتيح الفرص لدفع عجلة التقدم والتنمية فى مختلف المجالات .

فهرس الموضوعات

الصفحة

الباب الثالث

الباب الرابع

باطن الأرض وغلافها الصخري

مناطق الحركة والاضطراب فيها

الباب الخامس

قائمة بالكتب التي ألفها الأستاذ الدكتور/ جودة حسنين جودة

- قائمة بالكتب التى ألفها الأستاذ الدكتور /

جـــودة حسنين جـــودة

أسم الكتاب	الطبعة وتاريخها	الناشر
جغرافيا البحار والمحيطات	(١٢) ـ ١٩٩٨	منشأة المعارف (جلال حزى وشركاه) شارع سعد زغلول ـ الاسكندرية
جغرافيا لبنان الاقليمية	(٢) ـ ١٩٩٨	
جغرافيا أوروبا الاقليمية	(١٦) ـ ١٩٩٨	
جغرافيا أفريقيا الاقليمية	(١٠) ـ ١٩٩٦	
الجغرافيا الطبيعية والخرئط	(٦) ـ ١٩٩٨	
الجغرافيا الطبيعية لصحارى العالم العربى	(٦) ـ ١٩٩٨	
جغرافيا الدول الاسلامية	(٥) ١٩٩٨	
جغرافيا آسيا الاقليمية	(٥) ـ ١٩٩٧	
دراسات فى جغرافيا أوراسيا الإقليمية	(١) ـ ١٩٩٧	

أسم الكتاب	الطبعة وتاريخها	الناشر
معالم سطح الأرض	(٢١) ـ ١٩٩٧	دار المعرفة الجامعية ٤٠ شارع سوتر ـ الأزاريطة الاسكندرية.
قواعد الجغرافيا العامة	(٨) ـ ١٩٩٦	
جيومورفولوجية مصر	(٧) ـ ١٩٩٥	
الجيومورفولوجيا	(٧) ـ ١٩٩٦	
جغرافيا الزمن الرابع وعصور المطر فى صحارى العالم الاسلامى	(٨) ـ ١٩٩٦	
صحارى العرب ـ دراسات جيوموفولوجية	(٤) ـ ١٩٩٥	
العالم العربى ـ دراسة فى الجغرافية الاقليمية	(٦) ـ ١٩٩٦	
جنوب شرق آسيا دراسة فى الجغرافيا الاقليمية	(١) ـ ١٩٨٦	
الجغرافيا المناخية والحيوية	(٦) ـ ١٩٩٧	

أســم الكتــاب	الطبعة وتاريخــها	الناشــــــر
وسائل البحث الجيومورفولوجى	(١) ـ ١٩٩١	دار المعرفة الجامعية ٤٠ شارع سوتر ـ الأزاريطة الاسكندرية.
الأراضى الجافة وشبه الجافة	(٧) ـ ١٩٩٥	
شبه الجزيرة العربية دراسة فى الجغرافية الاقليمية	(٧) ـ ١٩٩٦	
جغرافية مصر الطبيعية وخريطة المستقبل للمعمور المصرى	(١) - ١٩٩٨	دار المعرفة الجامعية ٤٠ شارع سوتر ـ الأزاريطة الاسكندرية
جغرافية الكوارث الطبيعية والبشرية	(١) - ١٩٩٨	

مركز الدلتا للطباعة

٢٤ شارع الدلتا - اسبورتنج

☎ : ٥٩٥١٩٢٣

